David José Gonçalves Silva

Licenciatura em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Eficiência Energética em Habitações: Análise Comportamental e Aconselhamento Dedicado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor João Francisco Alves Martins, FCT/UNL
Co-Orientador: Doutor Celson Pantoja Lima, IEG/BSI/UFOPA

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Miguel Murta Pina
Arguentes: Mestre Pedro Miguel Ribeiro Pereira
Vogais: Prof. Doutor João Francisco Alves Martins
Prof. Doutor Celson Pantoja Lima

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2011

Eficiência Energética em Habitações: Análise Comportamental e Aconselhamento Dedicado

”Human behavior flows from three main sources: desire, emotion, and knowledge.”
by Plato (Classical Greek Philosopher)

Agradecimentos

Antes de mais, gostaria de utilizar este espaço para agradecer ao meu orientador Professor Doutor João Martins, pela sua dedicação e orientação em momentos críticos que foram aparecendo ao longo deste trabalho e também por ter sido um dos professores que mais me cativou ao longo do meu percurso académico, tornando-se uma referência para mim. Agradeço, ainda, ao meu co-orientador Professor Celson Lima pela sua grande disponibilidade demonstrada tanto a nível da dissertação como em todas as cadeiras que me lecionou.

Agradeço ainda à Schneider Electric Portugal e à Domótica SGTA pelo apoio prestado em determinados momentos da realização desta dissertação.

Aos meus fiéis colegas da FCT, por todos os momentos positivos festejados e negativos que foram ultrapassados devido ao companheirismo existente, e em especial aos meus grandes amigos ”Romenos” que fizeram parte de praticamente toda a minha vida académica, tal como na grande experiência de vida que foi o programa SOCRATES/ERASMUS. Em particular agradeço ao meu grande amigo Sérgio por ser o meu eterno parceiro, nomeadamente nos inúmeros e longos trabalhos de grupo. Somos uma boa dupla!

Um especial agradecimento aos meus pais pelo apoio e afecto que sempre me deram, em especial à minha mãe pelo seu amor e por tudo o que lutou na vida para que eu nunca desistisse dos meus objectivos.

Outro especial agradecimento para a minha namorada Sandra por todo o carinho, incentivo e apoio que tanto precisei nos últimos meses.

Não podia deixar de agradecer ao grande Grupo de Jovens da Arrentela e às Irmãs Doroteias, por tudo o que significaram e continuarão a significar para mim, ao contribuírem para o meu crescimento como pessoa.

A todos os restantes amigos e familiares que contribuíram de algum modo para a minha motivação e persistência na realização deste trabalho, um muito obrigado.

Resumo

Presentemente, o conceito da sustentabilidade apresenta-se como uma problemática crucial a nível mundial. Esta questão provém da interferência humana incorrecta, da qual resultou o aquecimento global, comprometendo assim a própria vivência do Homem e causando mudanças em diversos paradigmas de vida actuais. Um dos factores de maior impacto no desequilíbrio ambiental é resultante do uso, por vezes pouco racional, da energia, sendo necessário nesta medida adquirir uma postura mais sustentável em relação ao planeta.

A energia consumida no quotidiano habitacional e muitas das vezes exagerada é proveniente de muitos factores, entre eles o uso intensivo de dispositivos de aquecimento, arrefecimento e/ou iluminação. No entanto, o factor que mais contribui para o desperdício de energia é um inimigo bastante conhecido: o comportamento Humano.

Na procura de uma ferramenta que permitisse facilitar as mudanças de hábito nos consumidores promovendo comportamentos mais energeticamente eficientes em habitações foi implementado o Home Energy Saving Adviser System (HESAS). O HESAS é uma aplicação computacional, baseada em sistemas periciais, capaz de inferir os comportamentos energéticos do dia-a-dia dos inquilinos apoiado em informação ambiental captada por uma rede sensorial instalada dentro das suas habitações e, após várias análises, gerar aconselhamentos dedicados a cada consumidor para que estejam conscientes dos seus comportamentos incorrectos, criando assim no HESAS uma componente pedagógica sobre a utilização correcta da energia no quotidiano.

Palavras Chave:

Eficiência Energética, Comportamento Energético, Análise Comportamental, Aconselhamentos Dedicados, Sistema Pericial, Motor de Inferência

Abstract

Currently the concept of sustainability is presented as a worldwide crucial issue. This concern is a consequence of an unbalanced human interference, which resulted in global warming, thereby undermining the very existence of men and causing changes in several current life paradigms. One of the biggest impact factors on the environmental imbalance is a result of the sometimes irrational use of energy, and to that extent becomes necessary to acquire a more sustainable position towards the planet.

The energy consumed in everyday housing is often exaggerated from many factors, including the exhaustive use of heating, cooling and/or lighting devices. However, the most important factor contributing to wasted energy is a well known enemy: the human behavior.

In searching for a tool that allowed changes on the consumers habits promoting more energy-efficient behaviour in dwellings was implemented Home Energy Saving Adviser System (HESAS). The HESAS is a computer application, based on expert systems, capable of inferring day-to-day tenants behaviors through a sensory network installed within their homes and, after several analyses, generate the most appropriate dedicated advice to each consumer so he can be aware of every energy misbehavior, creating an educational component about the correct use of energy in everyday life.

Keywords:

Energy Efficiency, Energy Behavior, Behavioral Analysis, Dedicated Advice, Expert System, Inference Machine

Acrónimos

GUI Graphical User Interface

HESAS Home Energy Saving Adviser System

PROLOG PROgrammation LOGique

UML Unified Modelling Language

Conteúdo

Lista de Figuras

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo e feita a apresentação do problema energético existente a nível mundial como motivação de criação da presente dissertação. São referenciados os objectivos que foram propostos bem como o seu contexto de desenvolvimento e, por fim, uma breve explanação da estrutura deste documento.

1.1 Motivação

Ao longo dos tempos tem havido um consumo energético maciço e despreocupado, não tendo em consideração quaisquer consequências ambientais ou eventual esgotamento de recursos naturais.

Desde o fim do século XX a temperatura da superfície terrestre aumentou cerca de 0,74 ± 0,18 °C [1]. Este aumento de temperatura deveu-se em grande parte ao aumento da concentração de gases com efeito de estufa resultantes da actividade humana como a queima de combustíveis fosseis e o abate de florestas. Modelos climáticos referenciados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[1] mostram que as temperaturas globais na superfície terrestre poderão aumentar entre 1,1 ºC e 6,4 ºC no período de 1990 a 2100 (ver Figura 1.1) [1].

Consequentemente, a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera aumentou de 280 partes por milhão (ppm) para 382 ppm desde 1750 (época pré-industrial) até 2006 o que resulta num aumento de 36% [1].

Apenas nas últimas décadas do século XX começa a haver alguma consciencialização em relação à importância do meio ambiente para a Humanidade e ao desgaste que este tem vindo a sofrer, levando assim as políticas públicas a apostarem num desenvolvimento mais sustentável.

O sector energético começa então a captar as atenções devido ao seu impacto sobre o meio ambiente, e também pelo desperdício e ineficiência então existentes associados à sua produção e uso. É por esta altura em que se começa a falar sobre a Eficiência Energética.

[1] IPCC - Principal organismo internacional que avalia mudanças climáticas. Foi estabelecido pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) com o objectivo de dar a conhecer ao mundo uma visão clara e científica sobre a actual mudança do clima e seus potenciais impactos ambientais e sócio-econômico.

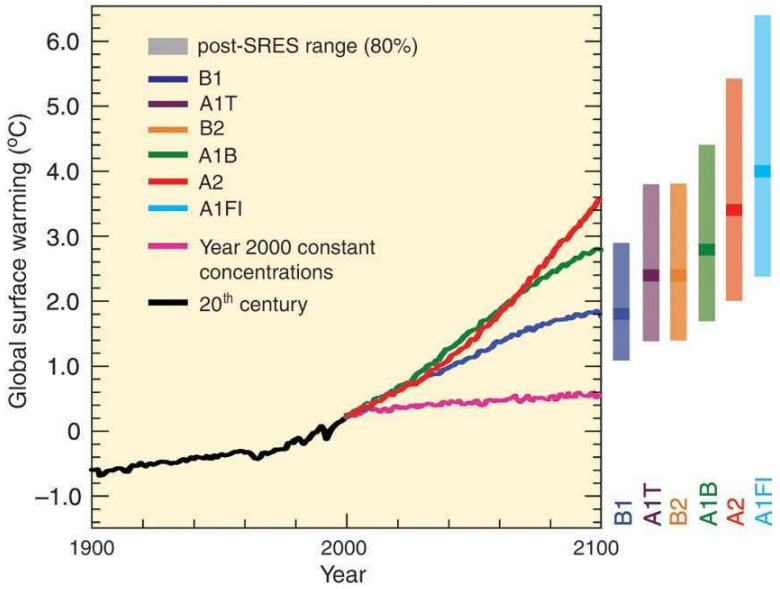


Figura 1.1: Médias geradas por multi-modelos sobre a evolução do aquecimento global à superfície [1].

Os edifícios urbanos são responsáveis pelo menos por 40% do consumo de energia em todos os países, pelo que é de máxima importância tornar os edifícios existentes mais eficientes a nível energético e aplicar várias medidas de eficiência energética na construção de novos edifícios [7].

No entanto, o Homem procura continuamente a desenvolver aplicações sustentadas pela electricidade, com finalidade de melhorar o seu conforto em casa, no trabalho, na rua, etc.. E com a evolução, cada vez mais o seu consumo foi pretendido, não só devido à grande facilidade e utilidade, mas também pelo seu baixo preço em relação a outros recursos.

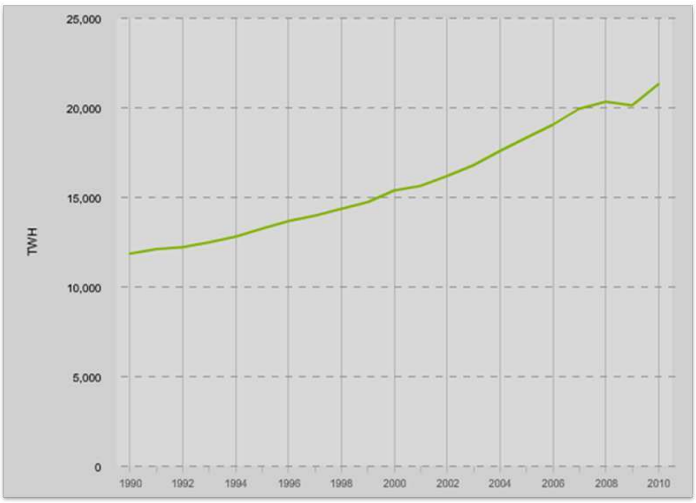


Figura 1.2: Histórico de consumo mundial de electricidade desde 1990 até 2010 [2].

Pela Figura 1.2, é possível mostrar a grande evolução histórica do consumo de electricidade no mundo, e notar que evoluiu lado a lado com a tecnologia, mais propriamente com os equipamentos eléctricos e o desenvolvimento na área computacional (Figura 1.3), que tem um grande peso no consumo energético.

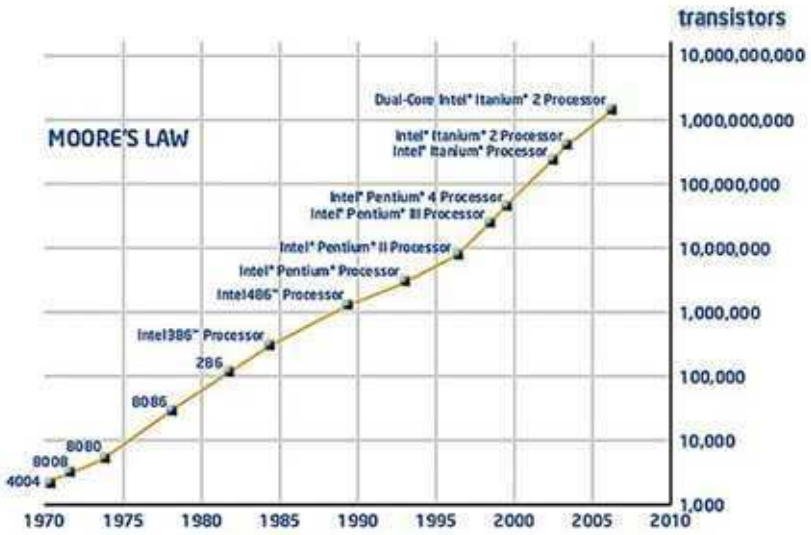


Figura 1.3: Crescimento da utilização de transístores nos processadores dos computadores [3].

Devido a todo este crescimento, os valores começam a ser preocupantes, tanto em relação à energia consumida e desperdiçada, como as dramáticas emissões de CO_2. De modo a combater as alterações climáticas e aumentar a competitividade e segurança energética, a Comissão Europeia, em Janeiro de 2007, propôs uma política energética para a Europa. O Consórcio definiu os seguintes objectivos (em relação aos dados recolhidos em 1990) [8]:

- Reduzir as emissões de gases que provocam o efeito de estufa em, pelo menos, 20% para 2020;
- Melhorar a eficiência energética em 20% para 2020;
- Aumentar a quota de energias renováveis em 20% para 2020; e
- Melhorar o nível de biocombustíveis nos combustíveis para transportes em 10% para 2020.

Com a Comissão Europeia a calcular que consegue reduzir a procura de energia de forma rentável em vários sectores em 20% fazendo investimentos sensatos (como o Plano de Acção para a Eficiência Energética 2007-2012), são visíveis as medidas que estão a ser tomadas, levando a um esforço económico muito grande para poupar energia. Além de que, com as mudanças climáticas a continuarem a crescer nas agendas políticas, a importância de poupar energia aumenta, pois é a maneira mais barata de aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO_2.

E qual a melhor maneira de usar eficientemente a energia? Simples, com a alteração dos hábitos dos consumidores todos os dias é possível reduzir o consumo de energia, e é nesta perspectiva que leva investigadores sociais e comportamentais, em conservação energética, terem tentado encontrar o melhor caminho para influenciar o consumismo de energia.

Mas o grande problema é que o uso de energia está incorporado nas rotinas diárias e na estrutura do nosso ambiente físico. Assim, para a maioria das pessoas e na maioria das vezes, a energia é invisível, e o feedback sobre o quanto se usa e gasta não é imediato. E porque raramente se tem decisões conscientes para o uso da energia torna-se, também, difícil tomar decisões conscientes para poupa-la.

Mesmo quando os políticos europeus alertam constantemente para a importância de poupar energia, há muitas forças que contradizem até os melhores esforços para mudar, como por exemplo as cidades, os sistemas de fornecimento de energia, os projectos de habitação e o próprio mercado de comercialização dos produtos, que não estão necessariamente destinados a promover a poupança de energia, com um constante fluxo de novos produtos a neutralizarem os ganhos de eficácia obtidos em outros já existentes.

No entanto, a mudança é possível. Ao tentar reduzir a procura de energia é útil diferenciar entre a habitual e rotinas diárias com investimentos eficientes de energia:

- Habituais, as rotinas diárias são padrões comportamentais diários que se fazem sem pensar, intuitivamente, em vez de se tomar decisões conscientes. Os padrões têm a sua própria dinâmica e conseguir alguém para fazer algo diferente uma única vez não é suficiente. As pessoas têm que mudar os seus padrões (Figura 1.4);

- Os investimentos eficientes de energia são feitos mais conscientemente pelos consumidores mas são acções mais raras, contudo os consumidores processam melhor a informação devido ao contacto directo com os equipamentos adquiridos.

Ambos os tipos de comportamentos têm que ser inseridos nos hábitos sociais, tradições e ambientes, pois é necessário que cada individuo aprenda (e desaprenda) por si mesmo e com a sociedade como um todo.

Figura 1.4: Um simples gesto muitas vezes esquecido [4].

Devido aos pontos anteriormente referidos, onde é impensável pedir aos consumidores para mudarem os seus padrões de comportamento de um dia para o outro, investigadores começam a pensar em como é possível auxiliar a população, para uma evolução na poupança de energia mais eficiente e mais rápida. Na base das investigações encontra-se a análise comportamental.

A análise comportamental não é mais do que entender o porquê de uma determinada acção perante um determinado cenário. O mesmo conceito se aplica no ramo da eficiência energética. Aqui a análise comportamental baseia-se em recolher dados de comportamentos e atitudes que os inúmeros consumidores fazem nas suas casas relacionados com a utilização de energia.

A Tabela 1.1 apresenta um estudo apresentado na ACEEE[2], em Washington D.C., sobre o peso

[2] ACEEE - American Council for an Energy-Efficient Economy é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1980, dedicada ao avanço da eficiência energética como um meio de promover a prosperidade económica, segurança energética e protecção ambiental.

da eficiência energética na economia, demonstrando a importância que o estilo de vida, a consciencialização e as atitudes de baixo custo podem ter sobre o as poupanças energéticas de uma habitação criando, assim, uma motivação maior no autor para a realização deste trabalho.

Tipo de acções	**Possível poupança de energia nacional (em Mtoe)**
Conservação do estilo de vida, consciência, acções de baixo custo	123 (57% da poupança total)
Decisões por investimentos	93 (43% da poupança total)
Total de energia poupada	**216 (22% da energia consumida pelas habitações)**

Tabela 1.1: Peso do comportamento na poupança de energia [9].

1.2 Contexto de Desenvolvimento e Objectivos do Trabalho

É sobre a linha de pensamento e motivação referida anteriormente que foi criado o projecto HOMER (HOMe Energy adviseR). O intuito deste projecto é tentar consciencializar os consumidores que é possível poupar na factura eléctrica das suas habitações apenas com alterações dos seus comportamentos pouco eficientes, que se encontram enraizados na rotina do dia-a-dia, contribuindo desta forma para um consumo energético mais ponderado. Um outro objectivo do HOMER é também ultrapassar a fronteira da idealização e desenvolver um ”kit” capaz de auxíliar empresas de certificação e aconselhamentos energéticos, bem como axuliar anergética os próprios habitantes nas suas casas.

Deste modo, é proposto como objectivo um sistema, passando pela utilização de vários sensores colocados estrategicamente pela habitação de modo a que, ao serem monitorizados, sejam utilizados para analisar comportamentos provenientes dos habitantes e posteriormente criar aconselhamentos dedicados aos próprios. Todos os aconselhamentos gerados terão sempre o mesmo propósito: alertar para a importância da correcção das atitudes energeticamente pouco eficientes efectuadas por todos nós, no dia-a-dia, de modo pedagógico e interactivo.

Assim, neste sistema os utilizadores têm a possibilidade de verificar falhas nos seus comportamentos energéticos, com base nas suas relações com os meios ambientes em que habitam e, deste modo, serem consciencializados para a curto prazo melhorarem os seus comportamentos energéticos. Este sistema denominou-se de *HESAS*, Home Energy Saving Adviser System.

O universo onde o *HESAS* se encontra é composto por 3 elementos. Pela Figura 1.5 é possível notar que os elementos são o Utilizador, a Aquisição de Dados e a Aplicação Computacional.

O Utilizador é o elemento activo, independente e perturbador que consegue mudar o ambiente onde o *HESAS* funciona e é para ele que todo este sistema trabalha, isto é, é sobre o Utilizador que todo o sistema implementado gera os seus resultados finais pois é ele que vai gerar informação ao *HESAS* através do seu dia-a-dia, através dos seus variados comportamentos, de modo a receber um *feedback* do sistema. No entanto, apesar do Utilizador ser o elemento mais fundamental, ele não tem como obrigação ser ”escravo” do sistema e estar constantemente a fornecer informação ao sistema nem a seguir à risca todo o *feedback* que recebe. Ele tem total independência sobre os restantes elementos o que implica que o *HESAS* tem a necessidade de estar constantemente em modo de alerta, sempre em modo de escuta para o caso de o Utilizador gerar algum evento, e assim, actuar sobre o mesmo.

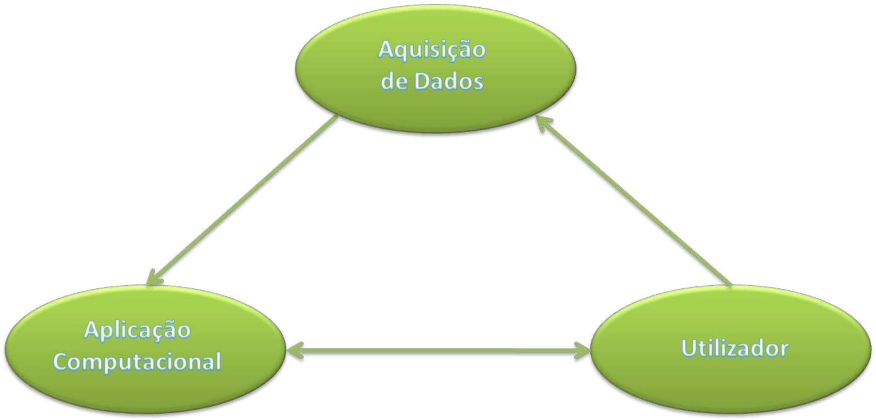


Figura 1.5: Relação entre os elementos do sistema.

O segundo elemento é a Aquisição de Dados que tem com objectivo receber toda a informação ambiental em tempo real que o Utilizador irá gerar (Temperatura, Luminosidade, etc.) onde seguidamente irá enviar todos esses sinais para o próximo elemento, isto é, para a Aplicação Computacional para que por sua vez tenha valores reais e exactos onde se basear. No fundo o elemento de Aquisição de Dados é o nível físico do sistema baseado em sensores e que faz a ponte desde o Utilizador até a Aplicação Computacional.

Por último o elemento Aplicação Computacional é o elemento que ao receber todos os sinais vindos da Aquisição de Dados irá interpretá-los para compreender e contextualizar toda a informação recolhida proveniente do Utilizador, de modo a retribuir para com o Utilizador aconselhamentos dedicados sobre uma interface gráfica, tentando inferir o seu comportamento para com o meio ambiente envolvido.

O presente trabalho, que traduz a contribuição do autor para o funcionamento do *HESAS* e por sua vez para o projecto HOMER, tem como objectivo primordial trabalhar e desenvolver exclusivamente sobre o elemento Aplicação Computacional. Sobre este elemento, foi desenvolvido pelo autor o Módulo de Análise Comportamental e de Aconselhamento Dedicado constituído por processos activos e eficazes em inferir os variados comportamentos dos consumidores e, posteriormente, criar aconselhamentos dedicados a cada consumidor, em função dos tipos de comportamentos efectuados dentro de cada habitação em particular. A Figura 1.6 traduz o normal funcionamento dentro deste módulo, ou seja, só após a realização de uma análise comportamental é que será dada a ordem de criação de um aconselhamento dedicado.

Figura 1.6: Diagrama de alto nível sobre o funcionamento do Módulo de Análise Comportamental e de Aconselhamento Dedicado.

A análise comportamental do utilizador baseia-se na compreensão da contextualização de cada acção e de comportamentos passados.

O aconselhamento dedicado tem como missão gerar um aconselhamento fortemente direccionado

para o utilizador em questão, tendo em conta a sua habitação, os seus hábitos, o seu perfil energético, os seus equipamentos e o seu histórico energético.

Os resultados obtidos, nomeadamente os aconselhamentos energéticos, encontrar-se-ão disponíveis para o utilizador através de uma interface gráfica (GUI) também desenvolvida neste trabalho que será descrita nos próximos capítulos.

Paralelamente a este trabalho foram desenvolvidos dois outros módulos destinados ao *HESAS*: Módulo de Recolha e Análise de Dados e o Módulo de Interface Web com o Utilizador.

O Módulo de Recolha e Análise de Dados insere-se essencialmente no elemento, atrás descrito, Aquisição de Dados fornecendo assim os valores essenciais para as análises comportamentais, enquanto o Módulo de Interface Web com o Utilizador apesar de se enquadrar no elemento Aplicação Computacional é totalmente independente da interface gráfica desenvolvida neste trabalho, sendo o seu intuito a disponibilização dos resultados via Web.

A Figura 1.7 demonstra os módulos que contribuem para o funcionamento do *HESAS*.

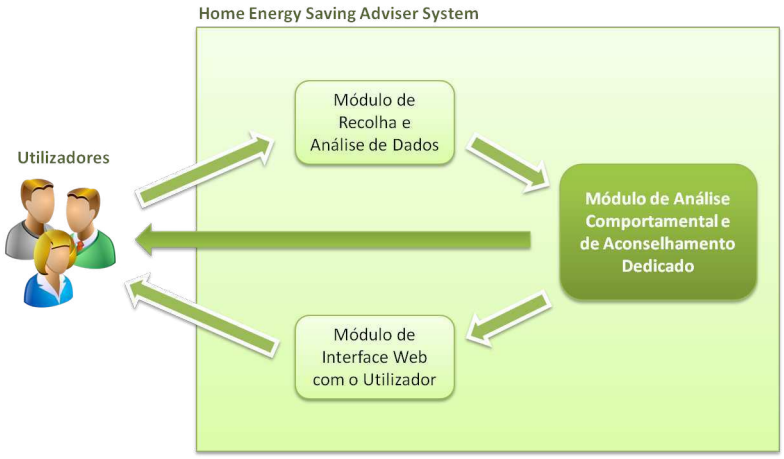


Figura 1.7: Visão geral do *HESAS*.

Os três módulos quando integrados prefazem os requesitos do *HESAS*, recolhendo dos utilizadores todas as variáveis ambientais reencaminhando de seguida para análise comportamental. Após o *HESAS* efectuar todas as análises serão então criados os aconselhamentos orientados para um determinado utilizador, onde poderá aceder aos resultados directamente do Módulo de Análise Comportamental de Aconselhamento Dedicado, através da interface gráfica desenvolvida, ou se desejar via Web.

Outro aspecto importante dentro do módulo desenvolvido neste trabalho é o da existência de perfis energéticos. Para cada divisão da habitação do utilizador existe um perfil energético que é composto por variados valores energéticos que servem como base de referência para a geração dos aconselhamentos dedicados. Estes valores de referência são inseridos pelo utilizador, pois cada um tem o seu modo de estar na vida, e o termo de conforto varia de pessoa para pessoa. Este aspecto será também aprofundado mais à frente.

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, incluindo o presente capítulo da Introdução, conforme se resume em seguida.

No capítulo 2, Fundamentos Teóricos, começa-se por contextualizar os vários temas descritos e relacioná-los entre si. De seguida são apresentados temas sugestivos e importantes para o conhecimento do leitor, de modo a criar bases para a compreensão e assimilação, da melhor maneira, de todo o conteúdo escrito ao longo deste trabalho.

No capítulo 3, Home Energy Saving Adviser System, é apresentado o projecto criado através da descrição de toda a sua estrutura, passando pela constituição do módulo implementado e dos módulos complementares, bem como a respectiva modulação do sistema.

O capítulo 4, Implementação do *HESAS,* é dedicado ao modo de como a contribuição do autor foi criada e implementada, pela disposição dos diagramas estruturais, nomeadamente diagramas de classe e de sequência. É também referido as ferramentas utilizadas que auxiliaram a execução deste trabalho, e por fim é mostrado ao leitor a interface gráfica desenvolvida.

No capítulo 5, Exemplo de Utilização/Validação, são apresentados os testes realizados à aprendizagem, ao modo real e ao modo de simulação do *HESAS* de modo a validar o sistema.

O sexto e último capítulo, Conclusões, aborda os aspectos relevantes da dissertação, tais como os objectivos alcançados, as dificuldades encontradas e sugestões para trabalhos futuros.

Os apêndices A,B,C,D e E incluem, respectivamente, o diagrama caso de uso, o diagrama entidade-relação, os diagramas de classe e os diagramas de sequência.

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos

O presente capítulo pretende dar conhecimento ao leitor sobre diversas temáticas que, a entender do autor, demonstram ser importantes para a consolidação de bases e conceitos, de modo a dissipar eventuais dúvidas à medida que o leitor for prosseguindo na sua leitura.

Tendo em conta a contribuição final que este trabalho pretende emitir, que passa pela análise comportamental e a geração de aconselhamentos dedicados, é reservado espaço do presente trabalho a uma pequena descrição do conceito ”comportamento” e as consequências que o mesmo poderá efectuar no seu universo. Para moldar e prevenir as consequências negativas, provenientes dos comportamentos, existem os aconselhamentos. Deste modo será também, interessante abordar o conceito ”aconselhamento” e as suas características relevantes para o sistema implementado.

Devido à existência de conhecimento humano na presente aplicação implementada e com a sua utilização para análise de vários factores que serão gerados pelo Homem, estamos perante um sistema pericial. É sobre esta temática que será abordado o conceito de ”sistema pericial” tal como as suas características e possibilidades de utilização. Tendo em conta que se trata de uma matéria que demonstra ser a base da lógica do sistema, será mais aprofundado que o tema anterior.

Por fim, será colocado ao leitor a linguagem utilizada para a implementação do ponto fulcral da aplicação, nomeadamente a análise comportamental energética, e os seus maiores atributos. A linguagem escolhida foi o Prolog, devido à sua fácil interpretação das regras escritas e, também, devido à sua robustez demonstrada, com a colocação ou remoção de regras na sua base de conhecimento, sem afectar o funcionamento lógico do motor de inferência.

2.1 O Comportamento e o Aconselhamento

Se analisar o que o Homem faz todos os dias é fácil verificar que a vida é feita de contrastes: parte dela realiza-se rotineiramente, outra parte realiza-se através de acções conscientes e reflectivas. Além disso, acontecem, por vezes, situações novas e inesperadas.

Relativamente aos comportamentos rotineiros, estes traduzem-se nos múltiplos actos que do levantar ao deitar realizamos quase sem nos darmos conta deles, isto é, sem pensar. São actos e comportamentos de um certo modo automáticos, executados mecanicamente, como por exemplo vestir, beber um café, ouvir rádio, etc.

Outra parte da vida quotidiana exige atenção, concentração, selecção de opções, tomadas de decisão com por exemplo: seguir o raciocínio de um professor, estudar, escolher uma profissão, etc. Estas

acções requerem a intervenção da inteligência e da vontade, pois implicam compreensão, ponderação e deliberação.

Os dois aspectos da vida humana a que se fez referência (comportamentos rotineiros e comportamentos ponderados) encontram-se presentes nas situações usuais que ocupam a maior parte do tempo. Em certo sentido poder-se-á dizer que correspondem ao que se espera que aconteça, àquilo que é previsível e que constitui uma experiência quotidiana do Homem.

Os comportamentos rotineiros e os comportamentos pensados e assumidos são suficientes para resolver a maioria dos problemas com que o Homem se depara. Na Figura 2.1 são sintetizados os aspectos anterioremente descritos.

Figura 2.1: Tipos de Comportamentos Humanos.

No entanto existem diversos factores que influenciam em determinados momentos o comportamento final de uma pessoa, que os fazem únicos e diferentes de cada um, passando a citar [10]:

- Antropológicos ou Culturais – factor relacionado com a questão de cultura de um povo ou grupo social. Por exemplo, as pessoas que seguem uma determinada religião têm hábitos semelhantes quanto a atitudes e comportamento em geral.

- Sócio-Económicos – pessoas que vivem em locais mais pobres ou mais ricos têm, em geral, características mais semelhantes entre si. É comum que em situações económicas de crise algumas pessoas possam sofrer alterações de comportamento devido a endividamento ou desemprego.

- Biológico ou Fisiológicos – encontra-se relacionado com o físico da pessoa. Um exemplo clássico é a mulher grávida, em que a alteração hormonal proporcionada pela gravidez gera em algumas mulheres alteração no comportamento.

- Ambiental – está relacionado com o local onde as pessoas moram, trabalham e vivem. Normalmente em cidades onde há maior incidência de sol as pessoas tendem a agir de modo mais alegre, receptivo e espontâneo. Locais mais frios, com pouca incidência de luz natural na maior parte do tempo faz que seus habitantes tenham mais comportamentos sóbrios, depressivos e individualistas.

- Psicológicos – está relacionado com o estado emocional das pessoas, modo como foram criadas e tratadas desde a infância até o momento actual. Pessoas que só receberam elogios tendem a

não ter noção dos limites, ou aqueles que na maior parte do tempo foram criticados por parentes, amigos, professores e outras pessoas tendem a desenvolver uma baixa auto-estima.

De modo a tentar moldar e aperfeiçoar o comportamento Humano, existem os aconselhamentos. O aconselhamento é a discussão de um problema com uma determinada pessoa visando sua solução ou ajuda-la a lidar melhor com um determinado assunto. Aconselhar não é a mesma coisa que treinar. O treino está voltado a questões de habilidade, ao passo que aconselhar diz respeito a problemas pessoais.

Existem vários tipos de aconselhamentos, tendo em conta a forma como são dirigidos entre os intervenientes. Existem várias maneiras de interacção entre a pessoa que aconselha (emissor) e a pessoa que é aconselhada (receptor), passando a citar [11]:

- Aconselhamento Directivo - Esta técnica abrange os emissores que ouvem os problemas do receptor, decidem o que deve ser feito e dizem ao receptor o que ele deve fazer. Neste caso, o emissor está no controle.

- Aconselhamento Não-Directivo - Este estilo baseia-se na crença de que as pessoas conseguem resolver os seus próprios problemas com a ajuda de um ouvinte solidário. Embora os emissores ouçam, a palavra final é do receptor.

- Aconselhamento Participativo - Esta abordagem é o meio-termo entre o aconselhamento diretivo e o não-diretivo. O emissor é um ouvinte activo e oferece observações e conselho. O aconselhamento participativo é congruente com a concepção de que os emissores, em lugar de chefiar as pessoas, delegam-lhes poder.

2.2 Sistemas Periciais

Tendo aparecido nos finais da década dos anos sessenta e início da década de setenta, os Sistemas Periciais são programas que incorporam uma quantidade significativa de conhecimento humano, habitualmente de um conjunto de peritos num domínio específico, e tentam reproduzir a forma de raciocínio humano, com o objectivo de emular o processo de resolução de problemas, de um ou mais peritos, cujos conhecimentos e experiência foram usados durante o desenvolvimento do sistema [12].

Um Sistema Pericial pode ser também construído com o objectivo de auxiliar o especialista, num domínio limitado e perfeitamente definido, utilizando para tal o conhecimento do especialista armazenado nesse mesmo sistema, pois é um sistema computacional que alcança altos níveis de desempenho em áreas que para o ser humano requerem anos de educação específica e de treino.

Os sistemas DENDRAL[1] e MYCIN[2], são considerados os primeiros sistemas periciais, ambos desenvolvidos na Universidade de Stanford, o primeiro em 1965 e o segundo em 1974. DENDRAL é um programa que foi criado para inferir uma estrutura molecular a partir dos dados de um espectrómetro de massa enquanto o MYCIN tinha como objectivo ajudar a identificar os organismos patogénicos em doentes com infecções bacterianas e a prescrever o regime terapêutico adequado [13, 14].

[1] DENDRAL - DENDRitic ALgorithm.

[2] MYCIN - Nome do projecto derivou do sufixo "-mycin" utilizado pela maioria dos antibióticos que o sistema estava preparado para ajudar a receitar.

A partir dessa época, vários sistemas foram desenvolvidos e resolveram diversos problemas, em diferentes domínios, como por exemplo, agricultura, química, sistemas de computadores, electrónica, engenharia, geologia, gestão de informações, direito, matemática, medicina, aplicações militares, física, controlo de processos e tecnologia espacial.

Em combinação com a computação simbólica, abriram uma nova era em termos de processamento de informação, na medida em que a máquina pode separar e classificar os componentes da informação simbólica (conhecimento) e tratá-lo na base de instruções explícitas.

Comparando este tipo de sistema com a programação tradicional verifica-se que as vantagens são as seguintes:

- Representação e estruturação do conhecimento;
- Transparência; e
- Versatilidade.

Porém este tipo de sistemas contém limitações, nomedamente:

- Observações num dado tempo;
- Forma similar de resolver os problemas; e
- Assume o conhecimento de um só especialista ou de um grupo de especialistas como sendo a de todos os especialistas.

O objectivo deste tipo de sistemas é o de gerar uma solução idêntica para o problema, àquela que um especialista humano apresentaria. Estes problemas requerem características especiais de programação, características estas que condicionam o desenho do Sistema Pericial. Estas características incluem, embora não sejam exaustivas [15]:

- A possibilidade de representar um grande volume de informação de uma forma coerente - Os problemas cuja resolução se adequa a um Sistema Pericial envolvem tipicamente desenhos de um grande volume de conhecimento para se encontrar a melhor solução para o problema. Um Sistema Pericial inclui uma base de conhecimentos para armazenar e organizar a informação necessária para se atingir as soluções do problema;
- Uma representação não procedimental do conhecimento - Nas aplicações tradicionais de programação, a ordem pela qual a informação é apresentada afecta normalmente o desempenho da aplicação. Os problemas normalmente resolvidos com a utilização de Sistemas Periciais são caracterizados por apresentarem diversas soluções possíveis, as quais não podem ser atingidas por simples comportamentos determinísticos. Utilizando uma base de conhecimentos, um Sistema Pericial providencia um método de representar o conhecimento de uma maneira não procedimental;
- A possibilidade de adicionar ou remover informação de uma forma regular sem afectar a estrutura do sistema - Normalmente os problemas solucionados com a utilização de Sistemas Periciais são aqueles que apresentam mudanças com o tempo, quando nova informação é adquirida ou há informação que perdeu a validade. Desta forma o programa deve ser capaz de

aceitar as modificações com o mínimo de transformações ao seu conteúdo. Num Sistema Pericial a informação numa base de conhecimentos é modular, isto é, a estrutura do programa não é dependente de qualquer parte da informação. Pode-se mudar ou substituir uma informação sem que se tenha de reestruturar todo o programa. O aumento de informação para a base de conhecimentos aumenta a possibilidade do sistema encontrar mais facilmente uma ou mais soluções para o problema, não sendo necessário fazer uma nova reescrita do programa;

- A possibilidade de solucionar problemas envolvendo raciocínio impreciso - Muitas vezes o Sistema Pericial é confrontado com o ter de decidir com informação incompleta ou com informação imprecisa. Nestes casos, o Sistema Pericial apresenta os melhores mecanismos para se chegar à melhor conclusão, utilizando a informação tal como esta é disponibilizada. A determinação da melhor conclusão é resultado do peso relativo e da precisão da informação disponível. Num sistema pericial é possível representar confiança ou probabilidade da informação por meio dos factores de confiança. Pode ser atribuído um factor de confiança a uma parte da informação para que esta exerça um certo peso em relação a outra informação, se necessário.

Resumidamente é possível definir as capacidades e limitações de um Sistema Pericial onde é desejável que possua [16]:

- Estruturar a informação disponível (por exemplo: denotação causal, em termos de factos e regras, redes semânticas, grafos conceptuais);
- Questionar o utilizador;
- Explicar ao utilizador como chegou às conclusões;
- Justificar o seu raciocínio;
- Ser consistente com as suas respostas;
- Evitar julgamentos precipitados;
- Trabalhar com informação incerta e incompleta;
- Focar num determinado e preciso problema;
- Manipular descrições simbólicas;
- Considerar várias alternativas competitivas;
- Considerar todas as possibilidades;
- Atribuir pesos ou probabilidades a alternativas selecionadas; e
- Anotar detalhes.

Em contraposto, os seguintes aspectos não são desejáveis:

- Raciocinar genericamente sobre uma grande variedade de tópicos;
- Raciocinar a partir de axiomas ou teorias gerais;

- Usar o senso comum;
- Fazer julgamentos precipitados;
- Saltar para conclusões prematuras; e
- Ir além das fronteiras a que se encontra inserido.

2.2.1 Arquitectura de um Sistema Pericial

Tipicamente, a arquitectura de um Sistema Pericial (ver Figura 2.2) pode ser resumido a três componentes principais:

1. Base de conhecimentos
2. Motor de inferência
3. Interface com o utilizador

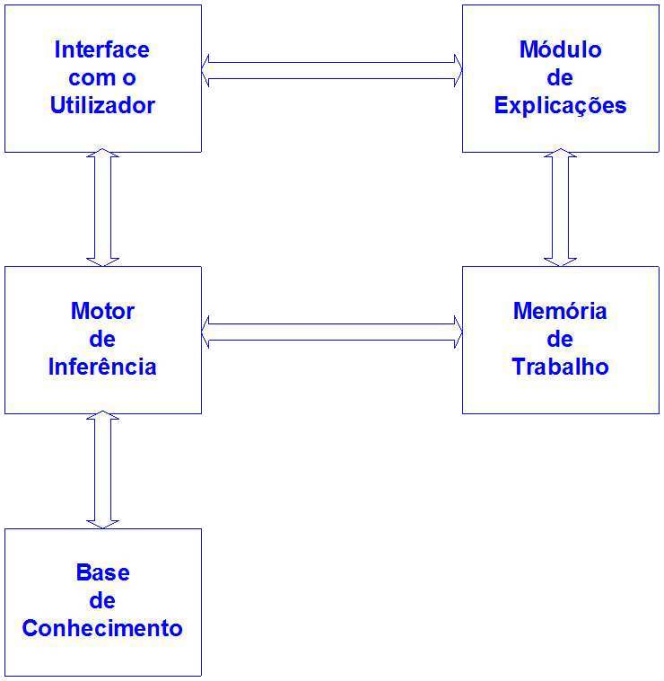


Figura 2.2: Arquitectura de um Sistema Pericial [5].

2.2.1.1 Base de Conhecimentos

A base de conhecimentos, como o seu nome indica, contém o conhecimento necessário para compreender, formular e resolver problemas, onde vão ser introduzidos dados (conhecimento), de tal forma, que através destes se possa compreender, formular e resolver o problema em questão. Estes dados, tal como na Figura 2.3, podem ter dois tipos de estruturas:

- Factos são uma forma de conhecimento declarativa, fornecendo algum entendimento de um evento ou problema.
- Regras que são as estruturas para a resolução do problema.

Os factos de uma base de conhecimentos correspondem aos dados armazenados numa base de dados convencional, sendo que as regras são colocadas na base para manipular os factos. Algumas destas regras são automáticas (que implementam o algoritmo de pesquisa do sistema) e outras existem para imitar o raciocínio humano. Este último tipo de regra é chamado de heurística.

Os métodos heurísticos são baseados no raciocínio, na experiência e por vezes na intuição do ser humano, sendo a identificação deste tipo de regra, provavelmente, o maior desafio que se coloca a um engenheiro do conhecimento quando tenta construir a sua base de conhecimentos.

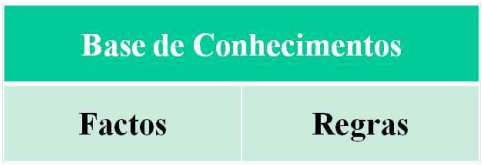


Figura 2.3: Componentes de uma base de conhecimentos.

2.2.1.2 Motor de Inferência

Na inteligência artificial, é o núcleo de processamento de um Sistema Pericial. O motor de inferência consiste em um sistema que executa operações baseadas em regras com o objetivo de encontrar soluções e tirar conclusões automaticamente, formando assim um sistema inteligente. A construção de um Sistema Pericial facilita a forma de ajudar os seus utilizadores, como também de encontrar soluções rápidas e construtivas. O funcionamento de um motor de inferência é mostrado na figura 2.4.

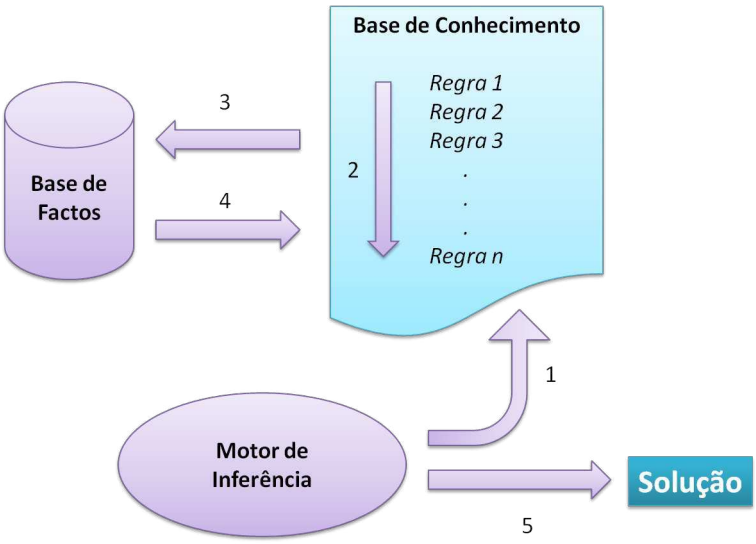


Figura 2.4: Motor de Inferência.

Descrição dos passos:

1. Motor de inferência percorre as regras da base de conhecimentos em procura da solução;
2. Regra por regra, a base de conhecimentos é percorrida até encontrar a solução;
3. De cada regra são retiradas conclusões, que por sua vez são armazenadas na base de factos;

4. Para retirar uma conclusão, uma regra precisa de saber os valores de conclusões anteriores, sendo que tais valores são pesquisados na base de factos para gerar novas conclusões;

5. O motor de inferência no final responde com a solução do problema encontrada.

O motor de inferência é o componente fundamental para o funcionamento dos Sistemas Periciais, controlando as suas actividades, sendo que estas mesmas actividades ocorrem em ciclos, onde cada ciclo é constituído por três fases:

- Correspondência de dados, onde as regras que satisfazem a descrição da situação actual são selecionadas.

- Resolução de conflitos, onde as regras que serão realmente executadas são escolhidas e ordenadas, entre as regras que foram selecionadas na primeira fase.

- Acção, que representa a execução propriamente dita das regras.

As principais características do motor de inferência disponível em um Sistema Pericial dizem respeito às seguintes funcionalidades: mecanismos de raciocínio, estratégia de pesquisa, resolução de conflitos e representação de incerteza. As funcionalidades referidas serão detalhadas a seguir.

Mecanismos de Raciocínio:

O motor de inferência tem a tarefa de obter ou provar soluções, podendo fazê-lo seguindo várias estratégias, que dependem também do formalismo de representação do conhecimento. Nos sistemas baseados em regras, os mecanismos de raciocínio podem ser por Encadeamento Directo[3] ou por Encadeamento Inverso[4].

O Encadeamento Directo (ver Figura 2.5) é uma técnica de controlo que produz novas soluções recursivamente, afirmando que as proposições consequentes associadas a uma regra de inferência com condições antecedentes que são verdades correntes. Como novas proposições afirmadas mudam o conjunto de verdades, novas regras são aplicadas recursivamente.

O Encadeamento Directo começa pelas premissas existentes e olha através da base de conhecimentos e da memória de trabalho, procurando possíveis soluções. A estratégia começa por colocar os padrões de símbolo da condição "SE" de uma regra contra todas as regras que se encontram armazenadas na memória. A acção "ENTÃO" de alguma regra de sucesso é adicionada à memória de trabalho como um novo facto inferido. Resumindo, o Encadeamento Directo, examina as condições "SE" das regras e dispara as regras para as quais a condição "SE" é verdadeira. Este processo é repetido até que seja obtido o resultado do problema ou então se tenham esgotado todas as possibilidades.

[3]Em inglês *"Forward Chaining"*.
[4]Em inglês *"Backward Chaining"*.

Sistema Pericial	Problema com o automóvel ?
Utilizador	Automóvel não pega.
Base de Factos	F1: Automóvel não pega.
Motor de Inferência	Facto F1 dispara Regra1 Regra1 gera 1ª conclusão intermédia (F2) que é inserida na Base de Factos
Base de Factos	F1: Automóvel não pega. F2: Problema pode ser no sistema eléctrico
Sistema Pericial	Carga da bateria < 10 Volts?
Utilizador	Verdadeiro
Base de Factos	F1: Automóvel não pega. F2: Problema pode ser no sistema eléctrico. F3: Carga da bateria < 10 Volts.
Motor de Inferência	Factos F2 e F3 disparam Regra2 Regra2 gera conclusão final que é inserida na Base de Factos
Base de Factos	F1: Automóvel não pega. F2: Problema pode ser no sistema eléctrico. F3: Carga da bateria < 10 Volts. F4: Bateria descarregada
	A sessão termina – Não há mais regras a considerar

Figura 2.5: Raciocínio por encadeamento directo [5].

Por outro lado o Encadeamento Inverso (ver Figura 2.6) começa por seleccionar uma ou mais regras nas quais as cláusulas "ENTÃO" são as mais prometedoras para a resolução do problema. Estas representam as hipóteses ou a meta que são necessárias provar serem verdadeiras. Os correspondentes "SE" são verificados para verificar se satisfazem a condição. Se existirem factos desconhecidos nas condições "SE", estes factos tomam-se as novas sub-metas ou sub-hipóteses. O sistema retrocede entre as regras até que a questão possa ser mencionada, encontrando-se desta forma um resultado prévio ou então esgotou-se todo o conjunto de regras a ser utilizado. Se existir porventura mais que uma regra que satisfaça o sistema, todas elas serão experimentadas até que se encontre o caminho correcto. Por vezes é necessário retomar a um determinado nó situado acima na árvore para se encontrar um caminho alternativo.

Em geral, os Sistemas Periciais adotam apenas um modo de raciocínio, no entanto existem alguns que permitem ambos os modos, mas de maneira independente e ainda outros que permitem um Encadeamento Misto, onde os encadeamentos directo e Inverso se alternam de acordo com o desenvolvimento da solução do problema e com o disponibilidade de dados.

Uma característica importante no mecanismo de raciocínio refere-se à monotonicidade ou não do método de inferência. Sistema monotónicos não permitem a revisão de factos, isto é, uma vez um facto declarado verdadeiro não pode mais tornar-se falso. Sistemas não monotónicos, por outro lado, permitem a alteração dinâmica dos factos. O preço desta capacidade é a necessidade de um mecanismo de revisão de crenças, pois uma vez que um facto, antes verdadeiro, torna-se falso, todas as conclusões baseadas neste facto também devem tornam-se falsas.

Sistema Pericial	Problema com o automóvel ?
Utilizador	Automóvel não pega.
Base de Factos	F1: Automóvel não pega.
Base de Regras	Regra2: Se o problema pode ser no sistema eléctrico E carga da bateria < 10 V Então **bateria descarregada**
Motor de Inferência	O problema pode ser no sistema eléctrico E Carga da bateria < 10 Volts
Motor de Inferência	Facto F1 suporta a regra R1 conclusão intermédia ci1 (o problema pode ser no sistema eléctrico) conclusão intermédia é inserida na Base de Factos – F2
Base de Factos	F1: Automóvel não pega. F2: Problema pode ser no sistema eléctrico.
Sistema Pericial	Carga da bateria < 10 Volts?
Utilizador	Verdadeiro
Base de Factos	F1: Automóvel não pega. F2: Problema pode ser no sistema eléctrico. F3: Carga da bateria < 10 Volts.
Motor de Inferência	Factos F2 e F3 suportam Regra2 **bateria descarregada Verd**

Figura 2.6: Raciocínio por encadeamento inverso [5].

Estratégia de Pesquisa:

Enquanto que o controlo utilizado com o encadeamento directo e o encadeamento inverso, mostra como as diferentes regras se encontram interligadas, para formarem o caminho de inferência, estas não indicam como ligar os múltiplos nós existentes no mesmo nível numa árvore de decisão. Os nós múltiplos podem representar regras com a mesma conclusão ou metas e sub-metas de igual prioridade.

A procura ou selecção de regras toma em consideração a pesquisa de todo um caminho antes de iniciar a sua procura noutro caminho. Duas estratégias de pesquisa podem ser utilizadas: a pesquisa em profundidade ou a pesquisa em largura.

A procura em profundidade (ver Figura 2.7a) percorre toda a árvore de prova antes de voltar ao ponto inicial para percorrer outro caminho. A procura em largura (ver Figura 2.7b) examina todos os nós de um determinado nível antes de passar ao seguinte.

A procura em profundidade é geralmente a utilizada, porque desenvolve todas as alternativas para um mesmo contexto. De qualquer forma não se pode à priori afirmar que esta seja a estratégia de procura óptima. Se a árvore de procura é particularmente profunda, esta técnica por ser "cega", poderá não ter em conta soluções alternativas potencialmente mais céleres.

A procura em largura, por outro lado encontra sempre o caminho (ideal) óptimo. De qualquer forma enferma também de um certo número de limitações:

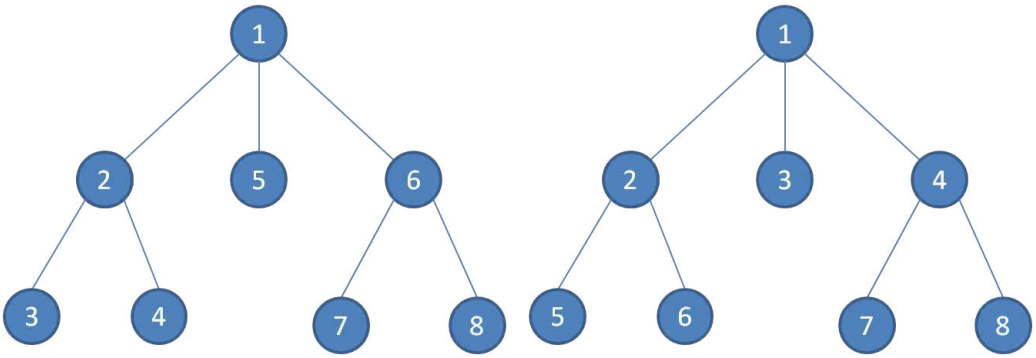
- É necessário um aumento de recursos disponíveis (ex. memória). O número de nós em cada nível da árvore aumenta exponencialmente com o número destes, os quais deverão ser todos armazenados em memória;

- O número de peças computacionais (inferencial) cresce exponencialmente, particularmente se a

solução mais curta é demasiado longa, uma vez que o número de nós que é necessário examinar explode com o tamanho do caminho;

- Operadores irrelevantes ou redundantes aumentam de uma forma elevada o número de nós a serem analisados.

Este tipo de procura é particularmente desapropriado em situações em que, ao existirem vários caminhos para se chegar à mesma solução, cada um deles é muito longo.



(a) Pesquisa em Profundidade. (b) Pesquisa em Largura.

Figura 2.7: Representação das várias Estratégias de Pesquisa

Resolução de Conflitos:

Ao terminar o processo de pesquisa, o motor de inferência dispõe de um conjunto de regras que satisfazem a situação actual do problema, o chamado Conjunto de Conflitos. Caso este conjunto seja vazio, a execução é terminada, caso contrário é necessário escolher que regras serão realmente executadas e em que ordem. Os métodos de resolução de conflitos mais utilizados ordenam as regras de acordo com os seguintes critérios:

1. Prioridades atribuídas estatisticamente;
2. Características da estrutura das regras como complexidade,
3. Simplicidade e especificidade;
4. Características dos dados associados às regras como o tempo decorrido desde sua obtenção, sua confiabilidade ou seu grau de importância;
5. Selecção ao acaso.

Em geral, a utilização de um destes critérios é insuficiente para resolver os conflitos, o que leva o Sistema Pericial a combinar mais de um método na forma de método primário, secundário, etc. Os melhores Sistemas Periciais dispõem de diversos métodos de resolução de conflito e permitem ao utilizador a especificação de quais métodos a utilizar e em que ordem de execução.

Representação de Incerteza:

O tratamento de incerteza é uma activa área de pesquisa em Sistemas Periciais, pois os domínios adequados à implementação de Sistemas Periciais se caracterizam exactamente por não serem modelados por nenhuma teoria geral, o que implica descrições incompletas, inexactas ou incertas. Uma característica frequente deste método é a existência de um limite mínimo para a medida de incerteza, abaixo do qual o facto ou regra é desconsiderado. Este limite pode, em geral, ser fixado pelo utilizador.

2.2.1.3 Interface com o Utilizador

A Interface com o utilizador final é talvez o elemento em que os programadores que desenvolvem os Sistemas Periciais dedicam mais tempo a projectar e implementar.

A Interface com o utilizador controla a sua interacção com o computador podendo assumir variadas formas, dependendo de como foi implementado o Sistema Pericial, como por exemplo, uma Interface com o utilizador flexível permite que o utilizador descreva o problema ou os objetivos que deseja alcançar.

É possível, ainda, considerar a Interface como importante instrumento que poderá ser utilizado para a formação do utilizador, uma vez que apresenta conceitos teóricos e aplicações práticas, sendo também responsável pelo maior ou menor nível de detalhe com que o sistema explica o caminho para a solução.

De qualquer forma, a Interface com o utilizador tem como objectivo procurar tornar o uso do sistema fácil e agradável, eliminando-se as complexidades.

2.2.2 Métodos de Representação de Conhecimento

Um ponto bastante importante no projeto de um Sistema Pericial é a escolha do método de representação de conhecimento. A linguagem associada ao método escolhido deve ser suficientemente expressiva para permitir a representação do conhecimento a respeito do domínio escolhido de maneira completa e eficiente. Mesmo assim, existem problemas de eficiência, facilidade de uso e a necessidade de expressar conhecimentos incertos, que levaram ao desenvolvimento de diversos tipos de formalismos de representação de conhecimento.

De seguida serão apresentados alguns dos formalismos de representação do conhecimento existentes.

2.2.2.1 Lógica

É a base para a maioria dos formalismos de representação de conhecimento, seja de forma explícita, como nos Sistemas Periciais baseados na linguagem Prolog, ou mascarada na forma de representações específicas que podem facilmente ser interpretadas como proposições ou predicados lógicos. Este é um método pobremente estruturado para a representação do conhecimento, no entanto é o método de representação de conhecimento utilizado neste trabalho devido ao Prolog, como será explicado mais à frente.

Neste caso o conhecimento é representado sob a forma de proposições, através da qual é possível efectuarem-se inferências lógicas. Numa lógica dual uma proposição só pode ter dois valores: verdadeiro ou falso.

No entanto é possível ligar uma ou mais proposições utilizando operadores como E, OU, NÃO e IMPLICA. A utilização destes operadores permite-nos criar estruturas compostas que entre elas se podem tornar ou verdadeiras ou falsas, de acordo com as regras da lógica em causa.

Pode-se ainda utilizar a lógica como um meio de expressar proposições, as relações entre as proposições e a forma como cada uma delas pode inferir de uma proposição para as restantes. Esta forma particular de lógica é a chamada Lógica de Predicados.

Um predicado é uma declaração acerca de um objecto, que pode ser verdadeiro ou falso e que pode lidar com um ou mais objectos. Uma das desvantagens deste tipo de representação é o das respostas ao sistema ser sempre boleana.

Existem vários tipos de limitações a este tipo de representação, das quais salientamos a situação de Verdade ou Falso, isto é, a lógica baseia-se no conceito que uma proposição ou é Verdadeira ou então é Falsa. No domínio real tal não acontece pois associadas a estas encontram-se graus de incerteza, que podem ser reflectidos na inferência a ser utilizada. O número de proposições que se pode representar, deve ser pequeno, pois um aumento no número das proposições pode gerar uma explosão combinatória, originando uma degradação do comportamento do sistema.

2.2.2.2 Redes Semânticas

É um nome utilizado para definir um conjunto heterogéneo de sistemas. Em última análise, a única característica comum a todos estes sistemas é a notação utilizada: uma rede semântica consiste em um conjunto de nós conectados por um conjunto de arcos. Os nós em geral representam objetos e os arcos, relações binárias entre esses objetos. Mas os nós podem também ser utilizados para representar predicados, classes, palavras de uma linguagem, entre outras possíveis interpretações, dependendo do sistema de redes semânticas em questão.

Este tipo de representação foi desenvolvido por Quillan e Raphael em 1968. As redes semânticas foram designadas primeiramente como uma forma de representar o significado das palavras (ver Figura 2.8). Neste tipo de representação a informação tem a forma de um conjunto de nós ligados entre si por um conjunto de arcos rotulados, os quais representam as relações existentes entre os nós. Os nós descrevem factos como objectos físicos, conceitos ou situações, e os arcos as relações as relações entre estes.

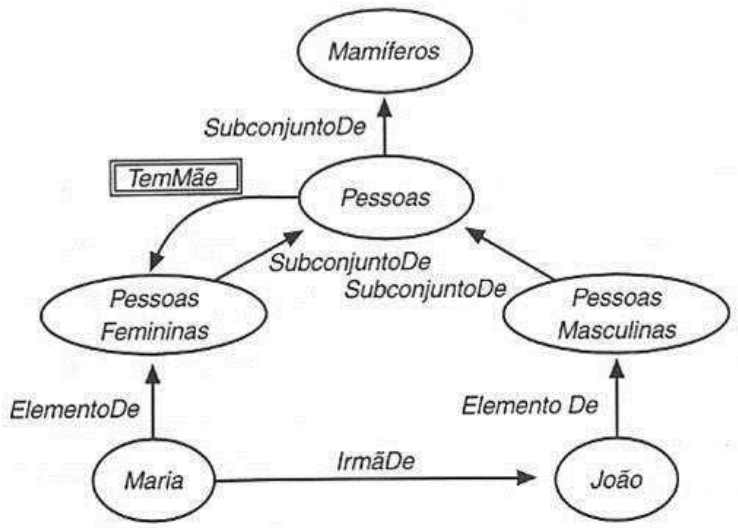


Figura 2.8: Exemplo de uma rede semântica [6].

2.2.2.3 Regras de Produção

As regras de produção apresentam-se como uma forma expedita de representação do conhecimento, em sistemas baseados em conhecimento. Este tipo de representação é popular devido a ser de compreensão fácil. Devido à sua simplicidade, estas regras são utilizadas na maior parte dos sistemas periciais. As regras são declarações que definem relações entre factos. O conhecimento é representado através de um conjunto de regras de produção na forma SE... ENTÃO..., isto é:

- Uma condição, premissa, antecedente que representa um padrão de reconhecimento do sistema pericial;
- Um resultado, conclusão ou consequência que especifica a acção a ser tomada pelo sistema quando é satisfeita a condição.

Como por exemplo:

- SE precondição P ENTÃO conclusão C;
- SE situação A ENTÃO acção B;
- SE condições Cl e C2 se mantem ENTÃO condição C não se mantem.

Resumindo, pode-se afirmar que um sistema baseado em regras de produção é por conseguinte:

- Modular - cada regra define uma pequena e independente parte do conhecimento;
- Incrementável - novas regras podem ser adicionadas à base de conhecimentos independentemente das regras já existentes;
- Modificáveis - regras antigas podem ser modificadas independentemente das outras regras.

2.2.2.4 Enquadramentos (*Frames*)

Contrastando com as regras de produção, o enquadramento é uma estrutura de dados que inclui todo o conhecimento acerca de um determinado objecto. Este conhecimento é organizado numa estrutura hierárquica especial a qual permite avaliar a interdependência do conhecimento.

Os enquadramentos encontram-se relacionados com os estereótipos utilizados no processo de raciocínio. As entidades com propriedades comuns estão organizadas em classes, de tal forma que cada classe incorpora características importadas da identidade numa estrutura facilmente reconhecida. Os enquadramentos são definidos como estruturas para descrever classes ou entidades separadas.

Um enquadramento consiste num conjunto de "slots", que são utilizadas para descreverem o aspecto do objecto. Estes "slots" podem ser preenchidos por outros enquadramentos descrevendo outros objectos. Normalmente, os "slots" tem um valor corrente (propriedades) do atributo em questão, se tal não acontecer assume-o por herança. Os enquadramentos encontram-se organizados em hierarquias, permitindo desta forma a herança dos valores. Quando um valor específico é colocado num enquadramento, uma instância do enquadramento é imediatamente criada. Cada enquadramento herda geralmente as características dos enquadramentos que se encontram em um nível superior.

2.2.2.5 Guiões

Um guião é uma estrutura que descreve uma sequência estereotipada de acontecimentos num contexto particular. Um guião consiste num conjunto de "slots", onde associado a cada slot pode ser encontrada informação acerca dos seus valores, assim como o valor por defeito a utilizar se não houver nenhum tipo de informação. São semelhantes aos enquadramentos mas destinam-se a representar acções.

2.3 A Linguagem Prolog

2.3.1 O Prolog

O Prolog surgiu em 1972, graças ao trabalho de Alain Colmerauer e Philippe Roussel na Universidade de Marselha. O nome para esta linguagem foi escolhido por um dos seus co-fundadores, Philippe Roussel, abreviando PROgramação em LÓGica [17].

Trata-se de uma linguagem essencialmente útil para aplicações que envolvem processamento simbólico e/ou pesquisa automática de alternativas, ou uma pesquisa sistemática de soluções possíveis. Além disso, é uma linguagem relativamente simples e surpreendentemente potente que permite escrever programas claros, legíveis, concisos e também cada vez mais eficientes e rápidos.

O Prolog é uma linguagem de programação que, na sua forma mais pura, permite a representação do conhecimento sob a forma de lógica como as cláusulas de Horn[5] e que, associado a um mecanismo computacional, permite a geração automática de conclusões lógicas no universo de conhecimento representado pelo programa. As aplicações desta linguagem estão geralmente associadas à inteligência artificial e à linguística computacional, tratando-se de uma linguagem declarativa e ao contrário das linguagens imperativas, o programa não se limita a dizer como resolver o problema mas sim a descrever o problema.

Esta linguagem não emprega tipos de dados como as outras linguagens. Aqui os dados são todos tratados de igual modo, como termos, no entanto é possível diferenciar termos no momento da sua declaração.

Deste modo é possível definir um termo como número, texto, uma variável ou um conjunto destes onde a distinção entre valor e variável é feita a partir da primeira letra do mesmo. Assim, se a letra for maiúscula trata-se de uma variável, caso contrário trata-se de um valor.

Os programas nesta linguagem são usados para descrever relações e para tal usam predicados compostos por cabeça e corpo. A um predicado que não tenha corpo dá-se o nome de regra, caso contrário dá-se o nome de facto. Vejamos o seguinte exemplo:

pai(tiago,maria).
(Facto que relaciona Tiago e maria através da relação pai)

e_progenitor(Progenitor):-pai(Progenitor,_).
(Regra que indica se um indivíduo é pai)

Como é de resto visível, o corpo separa-se da cabeça através de ":-" e a ausência desta separação significa que se trata de uma regra. O ponto final "." indica o fim de uma regra ou facto. Existem também as proposições lógicas comuns: and e or, respectivamente "," e ";". Aqui fica um exemplo de uma regra:

pais(Progenitor,Filho):-pai(Progenitor,Filho);mae(Progenitor,Filho).
(Regra que indica se um progenitor é pai de um filho)

[5] Alfred Horn - foi um matemático americano conhecido pelo seu trabalho na Teoria dos Reticulados e na Álgebra Universal. No seu artigo de 1951 "On sentences which are true of direct unions of algebras" descreveu as cláusulas de Horn e as sentenças de Horn as quais, mais tarde, seriam os fundamentos da programação lógica.

2.3.2 Compilador

O compilador de Prolog funciona recorrendo a consultas. Desta forma, se lhe for perguntado se o Tiago é pai da maria a sua resposta seria afirmativa, de acordo com o facto apresentado anteriormente. A consulta seria feita da seguinte forma:

? – pai(tiago,maria).

E a resposta seria: ”sim”.
Se o objectivo fosse descobrir quem era filho do Tiago, a consulta seria:

? – pai(tiago,Filha).

E a resposta seria:

Filha = maria.

Neste último exemplo reside grande parte da força do Prolog pois é possível, colocando uma variável (Filha, com maiúscula) num argumento de um facto, consultar toda a base de conhecimentos à procura de um facto que seja idêntico. A base de conhecimentos é constituída por todos os factos, ou seja, tudo aquilo que se sabe. Caso se pretendesse fazer uma consulta envolvendo um terceiro parâmetro com significado irrelevante para consulta em questão, nesse parâmetro deveria ser colocado “_”, de modo a ser ignorado e portanto a consulta seria feita da seguinte forma:

? – pai(tiago,Filha,_).

2.3.3 Backtracking

Ao processar uma instrução onde existem várias soluções possíveis, o Prolog desenvolve árvores com as várias possibilidades, e segue uma. Quando encontra um “não”, o Prolog volta atrás na árvore até ao ponto onde foi feita a última decisão e tenta outra possibilidade ignorada inicialmente. A este comportamento dá-se o nome de backtracking e ocorre também na situação de sucesso quando houver mais do que uma possibilidade de sucesso. Seguem-se alguns exemplos:

EXEMPLO 1:

pai(tiago,maria).
pai(tiago,joao).
? – pai(tiago,Filha).

Encontra a primeira solução e demonstra outro possível resultado:

Filha = maria;

Filha = joao.

EXEMPLO 2:

Base de Conhecimentos:

pai(joaquim,antonio).

pai(joaquim,tiago).

pai(tiago,maria).

pai(tiago,joao).

Nova regra ”avo”:

avo(Avo):-pai(Avo,Pai),pai(Pai,_).

Pergunta se o joaquim é avo.

? - avo(joaquim).

Ao fazer esta consulta, o compilador percorre os factos à procura de relações pai/filho e ao conseguir, e com a informação do filho, verifica se este também é pai. A julgar pela base de conhecimentos a consulta terá sucesso, mas não será sem que haja condições negadas. Como o parâmetro de entrada é “joaquim”, o primeiro facto compatível é “pai(joaquim,antonio)”. A variável Pai assume o valor “antonio” e o programa testa a segunda condição e procura um facto da forma ”pai(antonio,X)”. Como não existe nenhum facto com estas características, a condição falha e aqui entra o backtracking tal como se pode visualisar na Figura 2.9.

Como na primeira condição o compilador tomou um caminho entre vários, ele volta para este ponto e escolhe um dos caminhos que rejeitou. No nosso caso, o único ainda disponível é o caminho tal que Pai = tiago logo passa à segunda condição e aí verifica que o “joaquim” é avô.

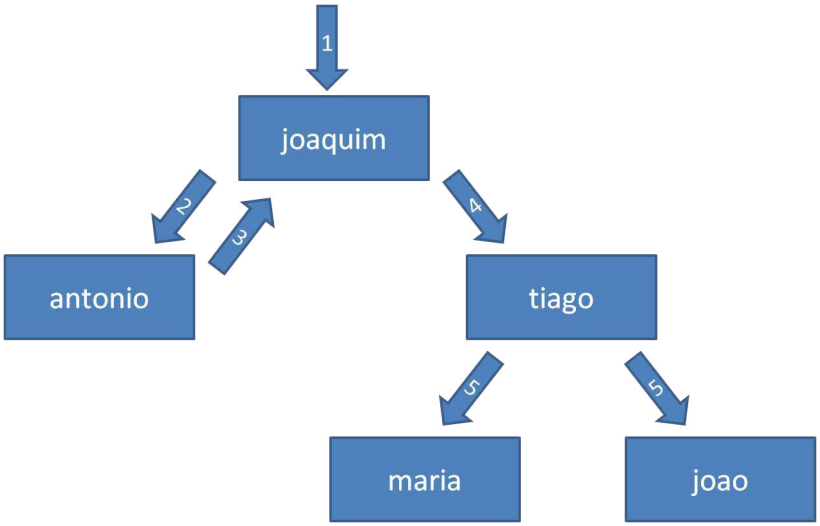


Figura 2.9: Percurso Lógico do Compilador.

Enumeração do percurso lógico efectuado pelo compilador:

1. ”joaquim” é o elemento a avaliar;
2. ”antonio” é o primeiro filho do joaquim a ser avaliado;
3. verifica-se que o “antonio” não tem filhos logo falha e volta-se atrás;
4. “tiago” é o segundo filho do joaquim a ser avaliado;
5. verifica-se que o “tiago” tem filhos e a consulta termina com sucesso.

É deste pressuposto (backtracking) que aparecem as regras declaradas mais do que uma vez, pois corresponde na prática a um OR, uma vez que, se a primeira declaração falha, o compilador procura outra e portanto acaba por correr as restantes declarações mas somente em caso de insucesso nas primeiras. A arte de manipular e controlar o backtracking faz do Prolog um linguagem poderosa e muito útil. Para tal, existem comandos/predicados já definidos que tornam essa manipulação possível e acessível.

2.3.3.1 Comando Cut

O comando cut, implementado pelo caracter “!”, serve para limitar o backtracking até um certo ponto do código. Deste modo, o programa admite backtracking até encontrar o ”cut” e a partir desse ponto qualquer “no” não faz backtracking para trás desse ponto. Portanto, se depois do cut houver um “no” e não existirem bifurcações para trás desse ponto, o programa/consulta termina inevitavelmente com “não”. Segue um exemplo:

programa :- instrucao_1, ... instrucao_n, !, instrucao_n1.

(Se a última condição falhar o compilador não faz backtracking e termina o programa.)

2.3.3.2 Comando Fail

O comando Fail faz aquilo que o seu nome indica, falha e portanto devolve ”não”. O seu uso parece, à primeira vista, limitado mas é particularmente útil em programas fortemente dependentes de backtracking pois força o programa a voltar ao seu ponto de bifurcação.

2.3.4 A Recursividade e as Listas

Outra das vantagens do Prolog é a facilidade de trabalho com regras recursivas que, ao contrário de que acontece noutras linguagens, são muito simples e fáceis de perceber. As regras recursivas são compostas por pelo menos uma declaração não recursiva, usada como condição de paragem, e pelo menos uma outra declaração recursiva, pois caso contrário teríamos um ciclo infinito.

A fácil implementação de regras recursivas em Prolog permite um tratamento eficaz de listas e portanto uma maior panóplia de soluções à disposição do programador para as suas tarefas. Na versão do Prolog usada neste trabalho as listas são declaradas por parêntesis rectos, “[]”, com os devidos elementos lá inseridos convenientemente separados por vírgulas. Adicionalmente é possível (e muito útil) separar uma lista pela sua cabeça (1º elemento) e os restantes elementos usando o seguinte sintaxe: [C|R], o que permite a sua fácil integração em regras recursivas.

EXEMPLO 1:

Verifica se um dado elemento faz parte de uma lista membro:

membro(E,[E|_]).
(E,[_|R]):-membro(E,R).

EXEMPLO 2:

Concatena duas listas numa terceira:

conc([],L,L).
conc([C|R],L,[C|T]):-conc(R,L,T).

EXEMPLO 3:

Inverte uma lista:

inverter([],[]).
inverter ([C\|R],I):-inverter(R,RI),conc(RI,[C],I).

Uma das razões que faz com que sejam necessárias as regras recursivas no tratamento de listas é a não variância das variáveis depois de lhes ser atribuído um valor, tornando-se efectivamente constantes. Uma variável quando declarada encontra-se vazia mas ao ser inicializada não pode mais ser alterada. Esta implementação do conceito de variável implica que na declaração de regras deixa de ser necessário definir quais são os parâmetros de entrada, ao contrário do que acontece nas linguagens iterativas, como por exemplo:

O utilizador pode consultar a base de conhecimentos para descobrir pais ou filhos, usando a mesma regra, alterando apenas os parâmetros:

pai_de(Pai,Filho):-pai(Pai,Filho).

Para descobrir pais:

? – pai_de(Pai,_).

Para descobrir filhos:

? – pai_de(_,Filho).

Capítulo 3

Home Energy Saving Adviser System

No presente capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido através da descrição de toda a sua estrutura, passando pela constituição do módulo implementado e os elementos e processos que o constituem, uma breve descrição dos módulos complementares e por fim a modulação do sistema através de diagramas de Caso de Uso e diagramas de Entidade e Relação.

3.1 Descrição Geral do HESAS

O *HESAS* poderá ser utilizado em variadas situações como num edifício, num condomínio, numa escola, ou apenas numa simples casa, etc. No entanto a topologia seguida neste trabalho será sempre a mesma, demonstrada pela Figura 3.1. Assim sempre que for referido o presente sistema, será sempre assumido que existe um edifício que contém vários apartamentos, que por sua vez é composto por várias divisões com uma rede sensorial cada.

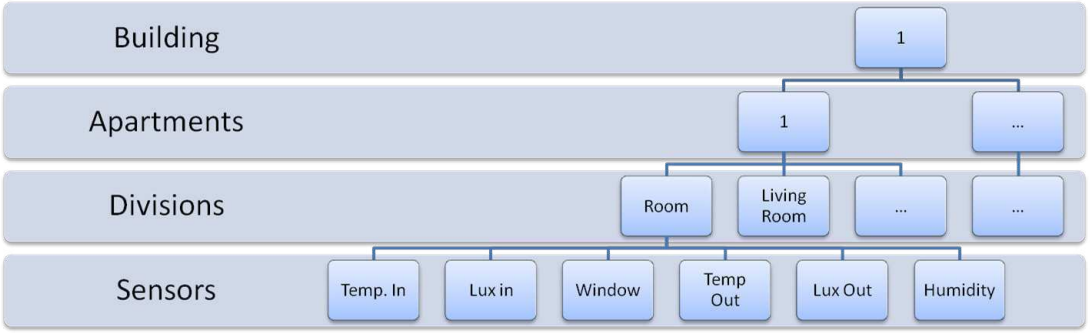


Figura 3.1: Topologia da estrutura de dados do *HESAS*.

Na Figura 3.2 já é possível visualizar em algum pormenor, ainda que a alto nível, os processos que fazem parte do Módulo de Análise Comportamental e de Aconselhamento Dedicado e a interacção entre ambos. Nesta mesma figura encontra ainda os dois módulos complementares a este trabalho para uma melhor percepção do leitor. Tanto o Módulo de Recolha e Análise de Dados como o Módulo de Interface Web com o Utilizador serão descritos brevemente na secção 3.3.1 e na secção 3.3.2 respectivamente.

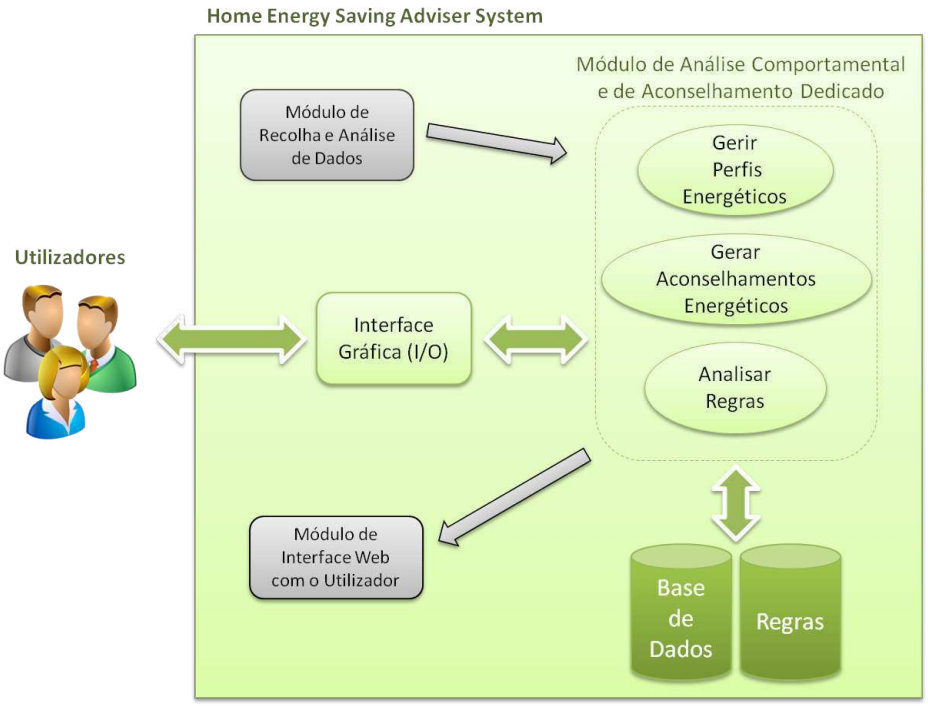


Figura 3.2: Blocos conceptuais implementados no presente trabalho.

Começando pela origem dos dados, o elemento de aquisição de dados é responsável por recolher todas as variáveis ambientais através da comunicação com os varios sensores espalhados pelo universo que o sistema abrange, sendo o último passo entre a vertente física e a aplicação computacional. Após este processo irá sair-se do Módulo de Recolha e Análise de Dados e irá entrar-se no Módulo de Análise Comportamental e Aconselhamento Dedicado, e este sim o módulo em que se baseia o presente trabalho.

Com o *HESAS* a saber a origem da informação com que está a lidar naquele instante de tempo, a aplicação computacional utilizará o seu Controlo Central, onde é composto pelos processos de gerir perfis energéticos, analisar regras e gerar aconselhamentos energéticos.

Assim sendo, o sistema vai começar a analisar o contexto envolvido da alteração ambiental por parte do utilizador e questionar-se sobre a informação recebida, para com isto ser mais preciso baseado numa base de dados constituida por Regras, ou seja, por uma base de conhecimento que será descrito mais à frente. Todo este processo designa-se de análise de regras.

Após a análise efectuada o Controlo Central executará o processo de gestão de aconselhamentos energéticos. Neste processo será revisto o histórico das acções do utilizador em questão e consoante a interpretação que o sistema tem sobre o passado será gerado um aconselhamento especializado e dedicado para o utilizador em questão usando, como leitura das informações passadas, a Base de Dados do sistema.

Além das regras, o processo de análise de regras irá ter como interveniente na sua execução o processo relacionado com o perfil energético. Este processo tem uma influência externa do utilizador que possui o poder de gerir directamente o seu perfil energético, ou seja, o utilizador ao aceder à aplicação computacional irá introduzir o seu perfil energético de modo a que, mais tarde, os variados aconselhamentos que possam ser criados sejam ainda mais personalizados e autênticos.

No entanto para o sistema arrancar o utilizador tem que configurá-lo, e para tal a aplicação com-

putacional possui um processo que executa toda a configuração e inicialização do sistema tal como o seja pretendido, através da Interface Gráfica (I/O).

Para a análise das regras e para a consulta à base de dados o módulo contém um processo de gestão que tem como função ler, inserir e actualizar dados em ambos os registos, sejam eles as regras ou a base de dados.

Após uma breve introdução e descrição do sistema e sobre os processos que engloba o sistema na presente secção, de seguida será aprofundado o módulo implementado com mais detalhe e suncitamente os módulos implementados paralelamente a este.

3.2 Módulo de Análise Comportamental e de Aconselhamento Dedicado

Antes de explorar esta secção, é da maior importância descrever o que se pretende com uma análise comportamental e com aconselhamento dedicado, de modo a que o leitor assimile e compreenda melhor os objectivos finais do presente trabalho.

A análise comportamental não é mais que um juízo de um determinado comportamento, por outras palavras, se uma acção por parte de uma pessoa foi positiva ou negativa para se atingir um fim. Neste caso o fim pretendido será a eficiência energética, pretendendo que o utilizador tenha acções o mais eficientes possíveis. Deste modo as análises comportamentais que serão feitas por este sistema, serão exclusivamente sobre comportamentos energéticos, que envolvem o uso de energia, como acender e apagar lâmpadas, bem como ligar e desligar aquecedores.

No entanto, as análises comportamentais não são mais do que um meio para se conseguir executar aconselhamentos dedicados.

O aconselhamento dedicado também é um conceito muito intuitivo. Por isso, é fácil entender que um aconselhamento dedicado é um aviso direccionado apenas e unicamente a um utilizador, com o intuito de ensiná-lo e ajudá-lo. De notar, também, que todo o processo que existiu até originar um aconselhamento para o utilizador em questão, foi sempre a pensar nele e não em outras pessoas, por mais influentes que sejam para ele, baseando-se assim apenas no seu comportamento.

Sendo o aconselhamento dedicado o objectivo final deste trabalho, na Figura 3.3 está ilustrado os elementos que foram criados para que todos os aconselhamentos sejam os mais dedicados possíveis.

Figura 3.3: Os quatro elementos que constituem a análise comportamental e o aconselhamento dedicado.

Sendo a análise comportamental uma das bases elementares para o aconselhamento dedicado, é então, necessário existir um elemento que faça todo o estudo das variadíssimas acções que possam ocorrer. Para tal foi utilizado um conjunto de regras, previamente pensadas e criadas para que sejam as mais correctas possíveis.

No entanto as regras não são suficientes para criar aconselhamentos, pois faria do sistema uma aplicação apenas momentânea e não histórica, como se deseja. Foi com esta ideia que se implementou

o elemento de Aprendizagem, que tem como função, percorrer o histórico das acções do utilizador e, por sua vez, ajudar a entender melhor o contexto da nova acção criada pelo utilizador e que se encontra a ser analisada pelo elemento Regras.

Como todos os utilizadores têm um conceito de bem-estar diferente uns dos outros, é necessário que cada utilizador associe um perfil energético a cada uma das suas divisões, para que o aconselhamento seja ainda mais dirigido ao utilizador em questão.

Por fim, o aconselhamento energético é gerado com base em todos os resultados obtidos dos outros três elementos, atrás mencionados. É com estes quatro elementos integrados entre si que se irá gerar aconselhamentos energéticos dedicados, sendo este o produto desejado deste trabalho.

Após ser demonstrado a importância de cada elemento para o sistema implementado, nas próximas sub-secções serão descritos cada um dos elementos discriminadamente.

3.2.1 Regras

As Regras, tal como é ilustrado na Figura 3.4, que representam um dos elementos do processo de análise comportamental juntamente com o elemento de Aprendizagem, é composto por uma Base de Factos e um Motor de Inferência.

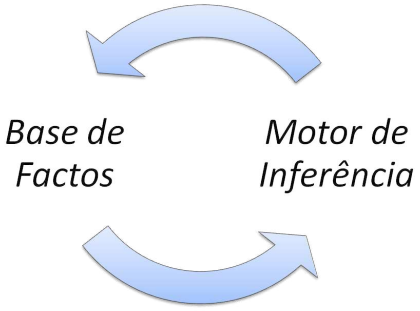


Figura 3.4: Representação da inferência das Regras.

A Base de Factos é um conjunto de várias condições comportamentais, denominado de regras, definidas previamente à inicialização do *HESAS*, onde se baseia todo o processo de análise comportamental dos utilizadores. Este conjunto (regras) referido é, no fundo, um agregado de padrões de comportamentos composto por vários factos, em que cada padrão indica numa consequência resultante da ligação de vários factos.

Deste modo, a Base de Factos está composta por inúmeros padrões de comportamentos energéticamente incorrectos para que o Motor de Inferência, através das variáveis ambientais recebidas pelo Módulo de Recolha e Análise de Dados (ver secção 3.3.1), infira as acções do utilizador, com o intuito de saber se foi, ou não, um comportamento energéticamente eficiente.

Assim, o Motor de Inferência tem como objectivo percorrer toda a Base de Factos e, consoante as acções pelo utilizador efectuadas, verificar o mais rapidamente possível as eventuais atitudes incorrectas do utilizador, de modo a ter um sistema mais rápido e optimizado, não descurando a sua *performance*.

Para se tornar mais evidente todo este processo, seguir-se-á um exemplo de uma acção de um utilizador, com o apoio da Figura 3.5.

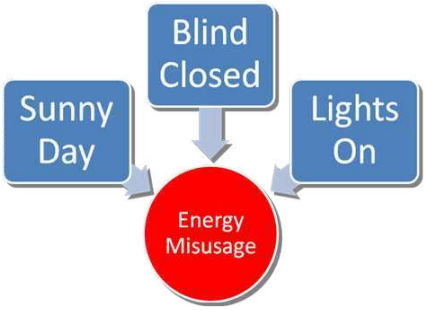


Figura 3.5: Exemplo de uma regra.

Pela figura anterior, foram usados como factos os acontecimentos de:

- Um dia com sol, ou seja, da existência de luz exterior suficiente para iluminar uma divisão;
- O estore fechado impedindo, deste modo, que os raios solares exteriores possam entrar na divisão;
- Luzes artificiais no interior da divisão ligadas.

Com a recepção destas variáveis, o Motor de Inferência irá percorrer todos os factos que existem validando todas as regras, procurando por alguma que se adeque aos valores recebidos. Caso o Motor de Inferência encaixe os factos em algumas das regras é sinal que existe um comportamento incorrecto por parte do utilizador, o que iniciará todo o processo, atrás já descrito, para criar um aconselhamento dedicado baseado nesta nova regra, que foi disparada.

Neste exemplo, é perceptível ao leitor compreender que eventuais regras irão ser disparadas. Com luz solar no exterior, com os estores fechados e com as luzes em casa ligadas, é notório o mau uso de energia e, por sua vez, o desperdício de energia que poderia ser evitado por parte deste utilizador caso se encontrasse apenas a usufruir da luz vinda do exterior.

Deparando com este tipo de situações, cabe ao *HESAS* chamar à atenção do utilizador para que este, num futuro próximo, tenha mais cuidado nas suas acções e seja mais energéticamente eficiente. Deste modo este ciclo de processos, com nova captura de valores e nova análise comportamental, irá se repetir infinitamente.

Neste trabalho ao utilizar o Motor de Inferência PROLOG, os resultados serão binários, isto é, verdadeiro ou falso. Assim o *HESAS* contém uma lista para maus comportamentos detectados, sendo associado uma etiqueta para cada acontecimento, como é possível verificar na seguinte tabela.

Etiqueta	Comportamento Detectado
1	Luzes ligadas desnecessariamente
2	Estores fechados indevidamente
3	Janelas abertas indevidamente
4	Janelas abertas indevidamente
5	Aquecedor ligado incorrectamente
6	Aquecedor ligado incorrectamente
7	AVAC ligado incorrectamente
8	AVAC ligado incorrectamente

Tabela 3.1: Indexação dos comportamentos analisadaos pelo Motor de Inferência do *HESAS*.

Como o leitor poderá ter notado, na Tabela 3.1 encontra-se duas etiquetas para o mesmo comportamento. Esta situação deve-se ao facto de ser detectado um comportamento errado por mais que uma maneira, isto é, os comportamentos que são duplamente detectados contém diferentes factos, abrangendo deste modo mais acontecimentos.

Será mostrado de seguida os factos a que leva a disparar cada uma das acções energéticas possíveis de identificar pelo sistema:

Luzes ligadas desnecessariamente	se	Intensidade luminosa interior > Intensidade luminosa exterior Intensidade luminosa interior > Intensidade luminosa de conforto Intensidade luminosa interior a subir
Estores fechados indevidamente	se	Iluminação interior > 40 lux (valor simbólico para evitar a divisão totalmente escura) Iluminação interior > Luz de conforto (apenas sob influência interior) Estores Fechados
Janela abertas indevidamente	se	Temperatura interior > Temperatura de conforto Temperatura interior < Temperatura exterior Janelas Abertas
Janelas abertas indevidamente	se	Temperatura interior < Temperatura de conforto Temperatura interior > Temperatura exterior Janelas Abertas
Aquecedor ligado incorrectamente	se	Temperatura interior > Temperatura de conforto Aquecedores Ligados

Aquecedor ligado incorrectamente	se	Temperatura interior < Temperatura de conforto Temperatura exterior > Temperatura de conforto Aquecedores Ligados

Ar Condicionado ligado incorrectamente	se	Temperatura interior < Temperatura de conforto Ares Condicionados Ligados

Ar Condicionado ligado incorrectamente	se	Temperatura interior > Temperatura de conforto Temperatura interior < Temperatura exterior Ares Condicionados Ligados

Neste sistema não existem sensores para os estores, o que levou a que tenha sido necessário utilizar regras para o motor de inferência analisar o fecho dos estores. Foi, então, criada a seguinte regra auxiliar:

Estore Fechado	se	Intensidade luminosa exterior variou Intensidade luminosa interior constante

O mesmo acontece para a detecção dos aquecedores e ar condicionados:

Aquecedor Ligado	se	Temperatura interior a subir demasiado depressa

Ar Condicionado Ligado	se	Temperatura interior a descer demasiado depresa

Para detectar quando a temperatura sobe ou desce demasiado depressa, é utilizado uma constante de tempo de calor ou uma constante de tempo de arrefecimento, respectivamente, como meio de comparação. No exemplo do aquecimento do meio ambiente, é detectado aquecedores ligados na divisão caso o tempo de subida da temperatura é superior que a constante de tempo de calor. Estas constantes de tempo serão a seguir referidas na Secção 3.2.2.

3.2.2 Aprendizagem

A Aprendizagem é o elemento que o *HESAS* necessita para se adaptar a cada meio ambiente que envolve o utilizador, pois cabe a este elemento detectar algumas variáveis ambientais que são da maior importância e relevância para o estudo e análise comportamental de cada inquilino.

Foram, então, implementados algoritmos de modo a que seja possível captar as seguintes variáveis ambientais:

- Intensidade luminosa artificial interior;
- O factor de influência da luz exterior sobre a interior;
- A constante de tempo de calor;
- A constante de tempo de arrefecimento.

Ambas as variáveis estão constantemente a serem actualizadas, com intervalos de tempo definidos pelo utilizador podendo ser alterados quando o próprio assim entender, o que lhe confere uma maior confiança, pois assim o *HESAS* trabalha sobre dados os mais actualizados possíveis.

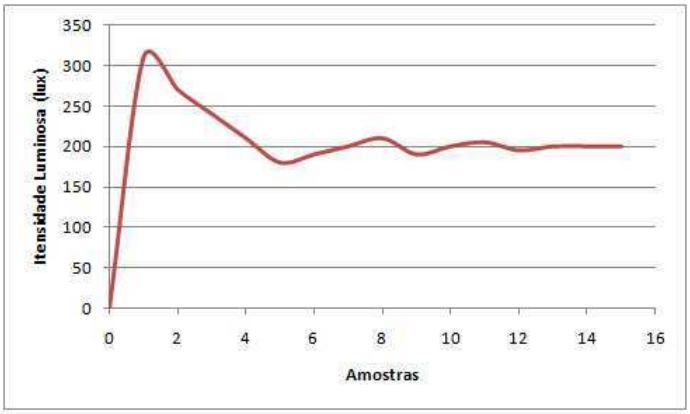


Figura 3.6: Evolução da intensidade luminosa numa divisão captada pelo sensor de luz interior.

O método de aprendizagem da intensidade luminosa artificial interior é executada com a ajuda do utilizador e tem como objectivo detectar com quantos lux[1] cada divisão fica, sendo a única fonte de iluminação a luz artificial que o utilizador dispõe em cada sala. É-lhe pedido que feche os estores, as portas e as luzes de modo a que a divisão em questão esteja o mais escuro possível para que o sensor de luz interior capte, com as melhores condições possíveis, a variação de intensidade luminosa, que se vai registar com o acender das luzes por parte do utilizador.

[1]Lux - Unidade do Sistema Internacional que representa o fluxo luminoso incidente num determinado plano.

No entanto, antes da aprendizagem, com a divisão escura, os valores de intensidade luminosa são quase nulos, ou completamente nulos caso a divisão esteja isolada por completo da luz solar exterior, e sendo os sensores equipamentos muito sensíveis a pequenas variações ambientais, o utilizador ao ligar a iluminação da divisão irá originar um grande pico de luz, que por sua vez irá criar uma variação de intensidade luminosa muito grande, levando o sensor de luz em erro para um valor superior ao que realmente é na realidade, mas que com a continuação do tempo o sensor vai tender a fixar um valor, que será já o equivalente ao que na realidade se encontra na divisão. Deste modo o *HESAS*, ao receber várias amostras de intensidades luminosas, irá esperar o tempo que for necessário até encontrar o valor desejado, isto é, o valor que estabilizou desde o início da aprendizagem.

Pela Figura 3.6 é possível visualizar um exemplo de uma aprendizagem efectuada à intensidade luminosa artificial de uma divisão. Como atrás referido, até estabilizar no valor referente à realidade, o sensor de luz irá oscilar muito o que leva a que o HESAS necessite de esperar de modo a saber seleccionar o valor correcto, pois caso contrário seria muito propenso a erros em análises comportamentais futuras, principalmente para detectar quando o utilizador ligou ou desligou as luzes da sua divisão.

Relativamente ao factor de influência da luz exterior sobre a interior, o que se pretende é relacionar a quantidade de luz que entra, pela janela, numa divisão vinda do exterior, sendo um processo de aprendizagem mais simples e mais rápido em relação ao anterior, porque independentemente da variação que ocorra por parte dos sensores, tanto o de luz interior com o de luz exterior, o factor será sempre igual. Com os estores totalmente abertos e com todas as fontes artificiais de luz da divisão desligadas, permanecendo apenas a luz natural da sala, o *HESAS* irá capturar no mesmo instante a intensidade luminosa no exterior e no interior da divisão, com o intuito de saber o efeito que a luz exterior tem sobre a luz interior. Este factor irá relevar-se muito importante para a detecção de estores abertos ou fechados.

Para a ajuda na detecção de funcionamento de aquecedores é calculado a constante de tempo de calor, que traduz aproximadamente o tempo que demora uma fonte de calor a fazer aumentar um grau Celsius.

Na Figura 3.7 é possível visualizar um caso tipo de evolução da temperatura após uma fonte de calor entrar em funcionamento. Ao se ligar um aquecedor, consoante a temperatura final desejada por parte do utilizador, será emitido na divisão uma intensidade de calor proporcional ao pretendido, elevando deste modo a temperatura ambiente. Nos primeiros instantes de tempo o contraste de temperatura ambiente com o emitido pela fonte de calor gera um choque térmico, sendo por isso que a variação de temperatura no meio ambiente é maior, o que leva a que a temperatura suba muito rapidamente. Ao longo do tempo, à medida que a temperatura na sala se aproxima do calor emitido pelo equipamento a variação torna-se menor, o que leva a que a temperatura suba mais lentamente pois o choque térmico, nesta altura, é mínimo.

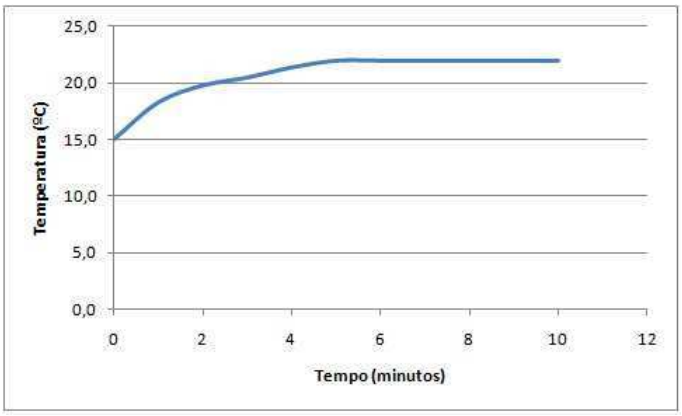


Figura 3.7: Evolução da temperatura após um aquecedor ser ligado.

No entanto, no momento em que a temperatura aparenta estabilizar, haverá sempre pequenas oscilações de temperatura, podendo assim existir pequenos acréscimos e decréscimos dos valores. É segundo este acontecimento físico que o *HESAS* irá terminar a sua aprendizagem, isto é, o sistema estará sempre a cronometrar o tempo em que o meio ambiente se encontre a aquecer até ao ponto que detecte uma descida de temperatura, que é sinónimo de que o processo de aquecimento se encontrar muito próximo do fim. Com esta lógica é possível garantir uma gama de valores muito próximos da exactidão, sendo mais do que suficientes para serem utilizados como referências futuras para o funcionamento do sistema.

Relativamente ao processo de detecção de funcionamento de fontes de arrefecimento é utilizado, para o processo de aprendizagem, a constante de tempo de arrefecimento. Neste caso a lógica utilizada é exactamente a inversa à de detecção da constante de tempo de calor, descrito anteriormente, onde a única diferença é que agora vai-se cronometrar o tempo que o equipamento demora a arrefecer a divisão, até ao momento em que houver novamente uma subida de temperatura, mesmo que seja uma subida muito sublime.

3.2.3 Perfil Energético

De modo a existir meios de comparação com os valores ambientais, os Perfis Energéticos são o espelho de conforto de cada utilizador, que serão utilizados como valores de referência. Como anteriormente foi explicado neste documento, cada utilizador tem as suas características e os seus valores ambientais com que se sempre se habituou.

Assim, é pedido ao utilizador na inicialização do sistema, a introdução dos valores de temperatura, humidade e iluminação do seu agrado para cada divisão, tanto para o Verão como para o Inverno (Figura 3.8). A obrigação da colocação dos valores para ambos os solstícios prende-se com o facto que os níveis de conforto no solstício do Verão serem ligeiramente diferentes do Inverno, consoante o local de habitação do utilizador, o que torna o sistema mais completo e detalhado.

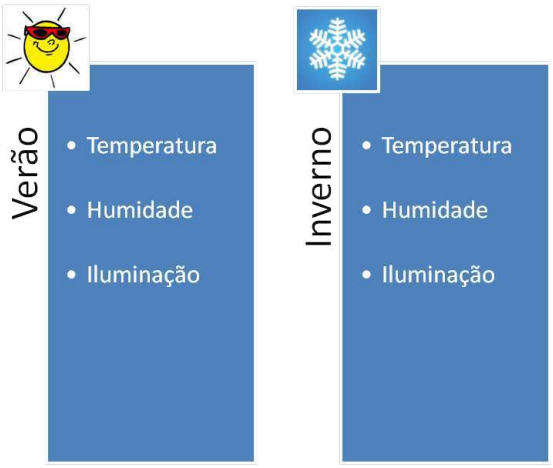


Figura 3.8: Atributos de um perfil energético.

Os perfis energéticos podem a qualquer momento serem alterados para qualquer divisão, sendo que o utilizador pode criar um novo perfil, como também pode remover os que desejar. O utilizador pode ainda associar às divisões os perfis que entender, sendo possível associar o mesmo perfil para várias divisões.

Sendo possível ao utilizador inserir os valores que quiser, que serão utilizados como referência de toda a sua análise comportamental, é importante salientar que o utilizador estará a interferir directamente com a validade dos resultados, ou seja, caso o utilizador opte por criar perfis energéticos com valores que não demonstrem a verdadeira realidade, os resultados que o *HESAS* irá produzir poderão sair da gama de valores aceitáveis. Por exemplo, imaginemos que o utilizador cria o perfil energético ”MyProfile” com 25ºC como o seu valor de temperatura de conforto, no Verão. Este valor de 25ºC irá ser a referência para a análise do seu comportamento até nova alteração do perfil energético, no entanto o utilizador vive numa zona em que no Verão a temperatura no interior da sua casa ronda os 20ºC.

Como o utilizador, sente-se confortável com 25ºC é natural que possa ligar o aquecedor de modo a aquecer a divisão, consumindo para tal a energia necessária. Do ponto de vista de eficiência energética, esta acção é criticada pois com uma divisão em temperatura amena e perfeitamente habitável a energia para aquecer a divisão esta a ser mal consumida, podendo ter sido poupada. No entanto do ponto de vista do *HESAS* a acção do utilizador foi normal e vai ao encontro do seu valor de conforto, que são os 25ºC, e assim a energia consumida para este fim é aceitável e justificada.

Cabe, assim, ao utilizador ser realista e criar perfis que não ponha em causa a eficiência energética da sua habitação, para que os aconselhamentos energéticos que o *HESAS* irá gerar possam ir o mais possível ao encontro do conceito de eficiência energética em habitações, que é sobretudo um dos objectivos deste trabalho.

3.2.4 Aconselhamento Energético

O aconselhamento energético é o último elemento de todo o ciclo que é realizado por parte do *HESAS* para gerar aconselhamentos sobre uma determinada acção do utilizador.

Até aqui tem sido descrito os vários passos que ajudam a refinar a análise comportamental, a fim de serem gerados aconselhamentos energéticos os mais dedicados possíveis.

No momento em que o *HESAS* chega a esta fase, já se é capaz de perceber em que contexto uma determinada acção foi executada, e quais as consequências que irão surgir. Com base nesta informação recolhida e filtrada é gerado um aconselhamento para que o utilizador perceba e interiorize que fez algo energéticamente incorrecto, e que deverá mudar a sua postura relativamente a este aspecto, para que no futuro não volte a cair no mesmo erro, poupando energia e consequentemente evita economicamente gastos desnecessários que, a longo prazo, irão consoante a gravidade da acção em causa fazer peso na factura eléctrica.

No entanto não basta dizer ao utilizador que se comportou mal diversas vezes, e sempre que ele fizer uma má acção. Caso ele estivesse a fazer a mesma acção de dez em dez minutos iria "entupir" o *HESAS* com o mesmo aconselhamento de dez em dez minutos e, por outro lado, com tanto aconselhamentos iguais o utilizador poderia cair na tentação da rotina e não dar importância ao acontecimento.

Para prevenir esta situação criou-se uma escala por pontos, em que os pontos representam a gravidade da situação, de modo a responder da melhor maneira ao utilizador, para que este fique com a real percepção do que se passa à sua volta derivado das suas acções.

Descrevendo este método, cada utilizador começa com 4 pontos no ínicio do dia, e o *HESAS* apenas irá registar os maus comportamentos ao longo desse mesmo dia. Para cada comportamento incorrecto o *HESAS* irá retirar pontos ao utilizador, como penalização, podendo no máximo chegar a -4 pontos, que significa ser desastroso em termos de eficiência energética, conforme a Figura 3.9. No entanto a penalização não será linear, onde cada comportamento terá o seu peso, dependendo de variáveis como a potência envolvida no acto.

Ranking	Score
Excellent	+ 4
Solid	+ 3
Good	+ 2
Passable	+ 1
Weak	-1
Poor	-2
Bad	-3
Disatrous	- 4

Figura 3.9: Tabela de pontuações.

Como exemplo vamos analisar a seguinte situação: o utilizador acende as luzes da sua sala desnecessariamente. A potência, previamente definida para as luzes da sua sala são de 1300W. Para o *HESAS* a acção de ligar uma luz desnecessariamente seria, obviamente, sinónimo de má utilização de energia e neste caso daria uma penalização ao utilizador de -1 ponto, até porque deixar uma luz ligada não é catastrófico. No entanto como o utilizador não possui apenas uma luz, mas sim um conjunto de lâmpadas que perfaz os 1300W o quadro muda de figura. Tendo em conta que deixamos de ter uma lâmpada a gastar energia, para um conjunto de lâmpadas a gastar muito mais energia, o utilizador terá uma penalização bastante maior consoante a energia desperdiçada. Neste caso com os 1300W o

HESAS iria penalizar o utilizador com -2 pontos. Estas penalizações são acumuláveis durante 24h, sendo actualizadas de hora em hora, ou seja, caso o utilizador deixasse as suas luzes da sala ligadas durante duas horas, não iria ter uma penalização de -2, mas sim de -4 pontos, o que reflecte -2 pontos por hora. Na pontuação diária, o impacto seria a subtracção à pontuação actual do dia.

Caso fosse o primeiro comportamento incorrecto do dia, iria ser subtraído à pontuação inicial (4 pontos) os 4 pontos de penalização, ou seja, a pontuação diária passaria para os 0 pontos. No final do dia (23h59m) e após as suas penalizações, o utilizador iria ter a sua pontuação final guardada onde irá ser usada posteriormente para as estatísticas. Ao começar o dia seguinte (00h00m) o utilizador irá ter novamente a sua pontuação com 4 pontos, e o processo atrás descrito irá novamente acontecer.

De notar que, caso o *HESAS* não detecte nenhum comportamento energéticamente ineficiente não haverá penalizações, ou seja, o utilizador irá acabar o dia com a melhor pontuação possível, neste caso com 4 pontos.

Com a pontuação definida para a acção efectuada, os aconselhamentos energéticos podem ter variados aspectos e gravidades. De modo a ser menos confuso para o utilizador, optou-se por reduzir o número de mensagens de aconselhamento, para que não existam dúvidas quanto à mensagem que se pretende transmitir ao mesmo. Assim em vez de ser gerado um comentário por cada pontuação a que o utilizador chegue no final do dia, será gerado consoante um intervalo de pontuações.

De seguida é apresentado as mensagens utilizadas para os aconselhamentos energéticos e as respectivas pontuações:

Variável Ambiental	Pontuação	Aconselhamento Energético
Iluminação	4	Today you were energy efficient with the lights. Congratulations, keep going!
Iluminação	2	Today you were particulary good with the ligths.
Iluminação	-2	Today you had a misbehaviour with the ligths.
Iluminação	-4	Please, you need to have more attention with the ligths. Today you consumed a lot of energy unnecessarily!

Tabela 3.2: Aconselhamentos energéticos acerca do uso da iluminação.

Variável Ambiental	Pontuação	Aconselhamento Energético
Estores	4	Today you were energy efficient with the blinds. Congratulations, keep going!
Estores	2	Today you were particulary good with the blinds.
Estores	-2	Today you had a misbehaviour with the blinds.
Estores	-4	Please, you need to have more attention with the blinds. Today you consumed a lot of energy unnecessarily!

Tabela 3.3: Aconselhamentos energéticos acerca do uso dos estores.

Variável Ambiental	Pontuação	Aconselhamento Energético
Janelas	4	Today you were energy efficient with the windows. Congratulations, keep going!
Janelas	2	Today you were particulary good with the windows.
Janelas	-2	Today you had a misbehaviour with the windows.
Janelas	-4	Please, you need to have more attention with the windows. Today you consumed a lot of energy unnecessarily!

Tabela 3.4: Aconselhamentos energéticos acerca do uso das janelas.

Variável Ambiental	Pontuação	Aconselhamento Energético
Aquecimento	4	Today you were energy efficient with the heaters. Congratulations, keep going!
Aquecimento	2	Today you were particulary good with the heaters.
Aquecimento	-2	Today you had a misbehaviour with the heaters.
Aquecimento	-4	Please, you need to have more attention with the heaters. Today you consumed a lot of energy unnecessarily!

Tabela 3.5: Aconselhamentos energéticos acerca do uso dos aquecedores.

Variável Ambiental	Pontuação	Aconselhamento Energético
Arrefecimento	4	Today you were energy efficient with the air conditioners. Congratulations, keep going!
Arrefecimento	2	Today you were particulary good with the air conditioners.
Arrefecimento	-2	Today you had a misbehaviour with the air conditioners.
Arrefecimento	-4	Please, you need to have more attention with the air conditioners. Today you consumed a lot of energy unnecessarily!

Tabela 3.6: Aconselhamentos energéticos acerca do uso dos ar condicionados.

Com toda a informação colecionada até ao momento, faz todo o sentido que exista uma interface web com o utilizador além da proposta por este trabalho, que será descrita mais à frente no Capítulo 5. Na Secção seguinte será descrito um outro trabalho paralelo a este que se engloba também no *HESAS*, que se traduz na possibilidade do utilizador aceder a sua informação via Web.

3.3 Módulos Complementares

Após a descrição dos vários elementos que compõe o módulo implementado pelo autor, será brevemente desenvolvido os dois módulos complementares várias vezes mencionados que foram promovidos por um outro trabalho, contribuindo também para os objectivos finais que se pretende para o *HESAS*, apenas com a intenção do leitor ficar mais familiarizado com todo o sistema.

3.3.1 Módulo de Recolha e Análise de Dados

Este módulo encontra-se realizado dentro de outro trabalho paralelo a este, criando uma ponte entre o mundo físico e a restante aplicação computacional, sendo para o âmbito deste trabalho um módulo transparente, que traduz o meio ambiente por uma linguagem que o *HESAS* consiga interpretar. No entanto é importante referi-lo e aprofundá-lo o suficiente de modo o leitor ficar com uma noção de todo o sistema *HESAS* e empiricamente, ter percepção do que existe anteriormente ao Módulo executado e reportado neste trabalho.

O Módulo de Recolha e Análise de Dados é composto por duas partes que se processam em sequência, isto é, será recolhida toda a informação ambiental possível e posteriormente será interpretado essa mesma informação, funcionando como um tradutor de sinais digitais para que seja transformado em informação útil, que futuramente será analisada.

Como recolha de dados foi instalado diversos sensores sensíveis a várias variáveis, nomeadamente de Temperatura, Humidade, Estado das Janelas e Luminosidade, como mostrado na Figura 3.10.

Figura 3.10: Sensores utilizados para recolha de dados.

Estes sensores encontram-se ambos em todas as salas que o sistema esteja a suportar sendo cada um endereçável, ou seja, ambos os sensores são individuais aos olhos do *HESAS* pois cada um é único tanto na sua localização como na sua função.

No fundo é para conhecer a localização de cada sensor que é necessário existir este Módulo, porque só sabendo a localização de cada um é possível compreender o contexto dos dados que enviam para o sistema.

Para receber estes dados é instalado vários elementos de hardware para a correcta recepção e reencaminhamento de dados com destino ao computador onde se encontra a Aplicação Computacional criada. Na seguinte figura 3.11 é ilustrado todo o conjunto de hardware utilizado que constitui este sistema de comunicação.

Tendo em conta que se encontra na presença de sensores wireless esta rede de comunicação contém um Receptor Wireless que faz a cobertura necessária da divisão de modo a receber todos os dados dos sensores com eficácia, utilizando o protocolo de comunicação próprio, que neste caso é o EnOcean Wireless[2].

Cada receptor está associado a uma divisão e a um único Controlador Multi-Funções que, por sua vez, está associado apenas a um apartamento. Este controlador suporta todo equipamento instalado nesse mesmo apartamento, que para além do receptor wireless, encontra-se em comunicação com um Contador de Energia e um Módulo de Expansão.

[2]EnOcean Wireless - EnOcean é uma tecnologia wireless que se baseia na ideia de que quando os sensores medem valores, o estado energético muda sempre.

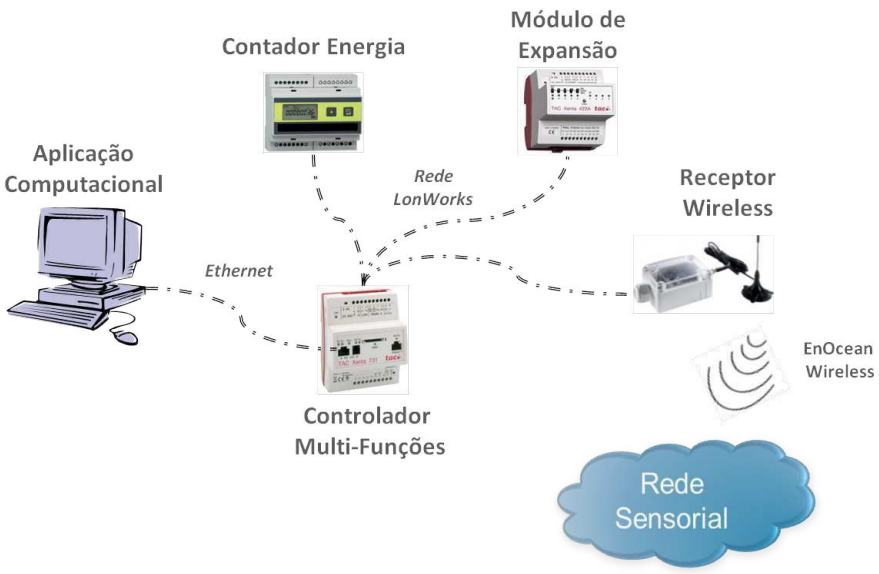


Figura 3.11: Sistema de comunicação.

O Contador de Energia tem como objectivo contabilizar toda a energia consumida pelos equipamentos instalados na habitação, para que exista registos de todas as variações de consumo ao longo do tempo, com o intuito de ser possível ir comparando em tempo real os valores detectados pelo Contador. Com o acesso a estes dados é possível mostrar ao utilizador quanta energia eléctrica ele gastou e comparando vários períodos homólogos é possível verificar se gastou mais ou menos energia desde a instalação do *HESAS*, consciencializando-se relativamente à sua postura para com o conceito de eficiência energética.

O Módulo de Expansão não é mais que um dispositivo que permite a instalação de outros elementos à rede de comunicação, como por exemplo equipamentos associados à domótica.

Todos os quatro equipamentos atrás descritos (Controlador Multi-funções, Receptor Wireless, Contador de Energia e Módulo de Expansão) comunicam entre si com base no protocolo LonWorks[3]. A partir do Controlador Multi-funções tem-se, por fim, a ligação por Ethernet[4] ao servidor do sistema, onde se encontra em execução a Aplicação Computacional.

A Figura 3.12 mostra o equipamento instalado para a execução de recolha de dados, com a seguinte legenda:

1. Antena Wireless (o receptor wireless encontra-se no interior do quadro);
2. Contador de Energia;
3. Transformador 230V/24V;
4. Disjuntor 16A;
5. Módulo de Expansão;

[3]LonWorks - O LonWorks é uma plataforma de rede P2P (Peer-to-Peer, ponto-a-ponto) criada especificamente para satisfazer as necessidades das aplicações de controlo.

[4]Ethernet - A Ethernet (também conhecida sob o nome de norma IEEE 802.3) é um padrão de transmissão de dados para rede local baseada no princípio seguinte: Todas as máquinas da rede Ethernet estão conectadas a uma mesma linha de comunicação, constituída por cabos cilíndricos.

6. Controlador Multi-Funções;

7. Ligação *Ethernet* que seguirá para o servidor.

Figura 3.12: Equipamento instalado para a execução de recolha de dados do *HESAS*.

3.3.2 Módulo de Interface Web com o Utilizador

O objectivo ao se criar uma interface Web passou pela comodidade em que se traduz a acessibilidade que o utilizador tem ao aceder a toda a informação que poderá querer ver em sua casa e em tempo real sobre a sua performance quanto à eficiência energética.

Cada utilizador irá ter acesso aos seus dados pessoais relativamente à sua evolução energética, nomeadamente tantos os alarmes mais recentes como os que se encontram em histórico, ou os aconselhamentos que o *HESAS* criou para o utilizador em questão, ou até mesmo ver a energia que tem vindo a poupar ao longo dos tempos.

Figura 3.13: Exemplo de conteúdo de uma das páginas da interface Web.

Toda a informação que o website irá disponibilizar para cada utilizador será proveniente da base de dados dos *HESAS*, que é constantemente actualizada.

No caso em particular representado na Figura 3.13 é dado ao utilizador a possibilidade de escolher as datas que deseja consultar, ou seja, é possível escolher um dia, uma semana ou até mesmo um mês para consultar a tendência dos seus comportamentos energéticos, consoante os rankings que *HESAS* regista sobre o comportamento energético do utilizador todos os dias, mais concretamente em relação à temperatura e a iluminação.

3.4 Modelação

A UML é uma linguagem ou notação de diagramas para especificar, visualizar e documentar modelos de 'software' orientados por objetos. A UML não é um método de desenvolvimento, o que significa que não impõe ao utilizador o que fazer primeiro ou o que fazer depois ou como representar o seu sistema, mas ajuda-o a visualizar o seu desenho e a comunicar com os outros. Foi dentro desta linguagem que a modelação deste trabalho foi concebida, que será de seguida apresentada ao leitor para uma melhor compreensão do universo denominado de *HESAS*.

3.4.1 Diagramas de Caso de Uso

Os diagramas de Caso de Uso descrevem relacionamentos e dependências entre um grupo de Caso de Uso e os Actores participantes no processo, não sendo o mais adequados para representar o sistema, pois não tem como finalidade a representação dos mecanismos internos de um sistema, mas sim facilitar a comunicação com os futuros utilizadores do sistema, sendo especialmente úteis para determinar os recursos necessários de que o sistema necessita.

Os Casos de Uso que serão apresentados de seguida estarão a fazer referência às funcionalidades existentes no GUI implementado para a interface entre o utilizador e o Módulo de Análise Comportamental e Aconselhamento Dedicado.

Na Figura 1 do Anexo A, é possível visualizar todo o conjunto de funcionalidades que se encontra disponíveis para o actor, que neste caso é o utilizador, sendo elas:

- Abrir Tópicos de Ajuda;
- Configurar Sistema;
- Definir Modo de Funcionamento;
- Consultar Resultados;
- Simulador.

De modo a ser mais compreensível, seguidamente serão detalhados algumas das funcionalidades.

Configurar Sistema A funcionalidade de Configurar Sistema serve para o utilizador, antes de poder arrancar o *HESAS*, definir parâmetros muito importantes para a futura análise e aconselhamento dos seus comportamentos. Estes valores têm a utilidade de demonstrar como o meio ambiente de todas as divisões, que o sistema irá englobar, se encontram no instante antes do *HESAS* inicializar, onde serão utilizados como valores de comparação com valores captados futuramente.

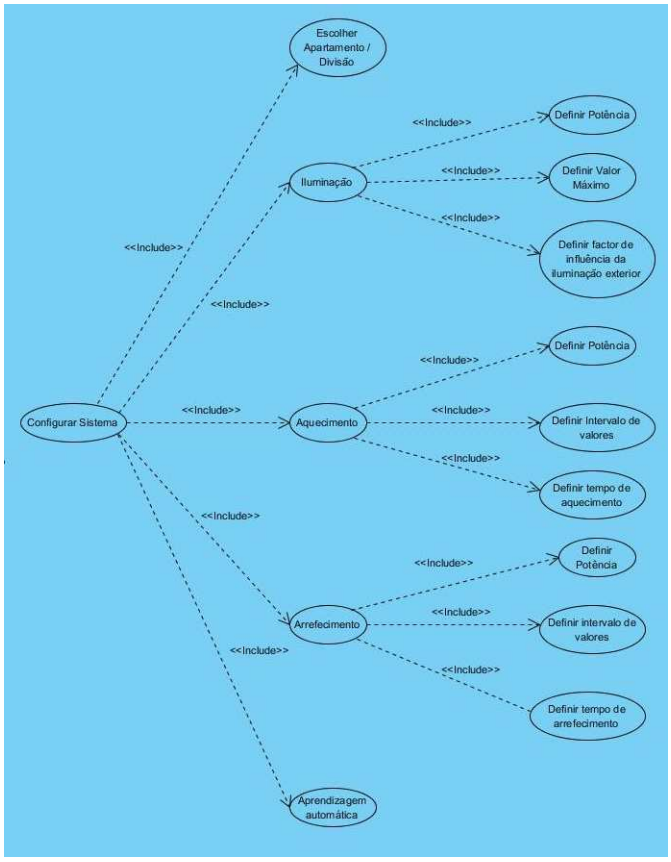


Figura 3.14: Casos de Uso relativos à configuração do sistema.

Pela Figura 3.14 encontramos como casos de uso:

- A opção de *Escolher Apartamento / Divisão*, onde é dado ao utilizador escolher que apartamento e divisão pretende configurar;

- A opção de definir valores essenciais ao funcionamento do *HESAS*, relativamente à *Iluminação*, onde o utilizador pode definir a potência dos equipamentos envolvidos, a intensidade luminosa que as luzes artificiais, da divisão escolhida, consegue emitir e ainda definir o factor entre a intensidade luminosa exterior e a intensidade luminosa interior sem fontes artificiais;

- A opção de definir valores relativamente ao *Aquecimento*, onde o utilizador pode definir a potência dos equipamentos envolvidos, definir intervalo de valores, para que juntamente com o tempo de aquecimento, ser possível calcular a constante de tempo de aquecimento da divisão;

- A opção de definir valores relativamente ao *Arrefecimento*, que é semelhante ao caso de uso de *Aquecimento;*

- A opção de escolher a *Aprendizagem Automática*, que consiste em poupar o utilizar de inserir os valores, atrás descritos, cabendo ao *HESAS* a detecção dos valores por si mesmo com a ajuda, deste modo reduzida, do utilizador. A interface e a sequência da aprendizagem são detalhadas mais à frente na Sub-Secção 5.1.

Modo de Funcionamento Esta funcionalidade traduz-se como o telecomando que o utilizador possuí para controlar o *HESAS*. Na Figura 3.15 encontra o respectivo detalhe referente a este caso de uso.

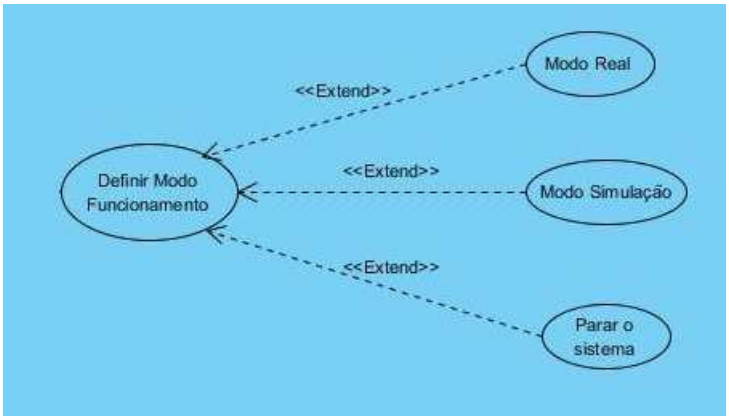


Figura 3.15: Casos de Uso relativos ao modo de funcionamento.

De modo simples o utilizador tem a possibilidade de escolher entre 3 modos de funcionamento:

- Escolher a possibilidade do *Modo Real*, que é por norma o modo de funcionamento normal onde o *HESAS* se encontrará, a partir do momento em que o utilizador escolha este modo, funcionando completamente por si só, recolhendo todos os valores necessários e criar os aconselhamentos para que foi concebido;

- Caso o utilizador queira testar o sistema e o motor de inferência que se encontra por detrás de todo este mecanismo de aconselhamentos, está ao seu dispor um *Simulador*, onde as suas funcionalidades serão descritas mais à frente;

- Em qualquer altura, assim que o entender, o utilizador poderá parar o sistema independentemente do modo de funcionamento em que o *HESAS* anteriormente se encontrasse. A opção de

Parar o Sistema não fechará a aplicação, mas apenas colocará o *HESAS* como que "adormecido".

Consultar Resultados Como qualquer outra aplicação, só faz sentido ser criada e utilizada se existir a possibilidade de se verificar os seus resultados. Este sistema, não foge à regra, e tendo em conta que o principal objectivo do *HESAS* é interagir directamente com o utilizador tentando aconselhá-lo inferindo o seu comportamento, existe várias funcionalidades de consulta (ver Figura 3.16).

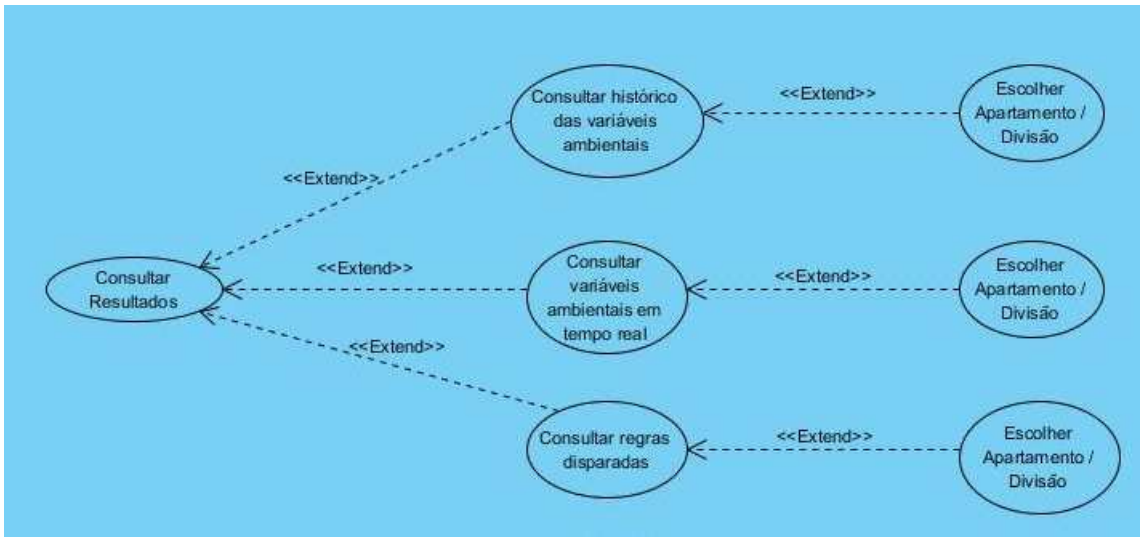


Figura 3.16: Casos de Uso relativos à consulta dos resultados.

Estão disponíveis 3 diferentes tipos de consulta:

- *Consultar histórico das variáveis ambientais* - O utilizador ao, escolher a divisão e respectivo apartamento, terá acesso a todo os histórico de valores ambientais captados pela *HESAS*, podendo fazer a sua própria análise relativamente à evolução das valores que lhe são apresentados.

- *Consultar variáveis ambientais em tempo real* - Tal como visualizado na Secção anterior, o utilizador poderá sempre em tempo real os valores que se encontra em qualquer divisão que pretender;

- *Consultar regras disparadas* - Do mesmo modo que é possível ver as variáveis em tempo real, é também possível ver em directo as últimas 5 regras que foram disparadas, devido a maus comportamentos energéticos por parte do utilizador.

Simulador Tal como atrás foi referido encontra-se à disposição do cliente um simulador, para que a qualquer momento possa efectuar quaisquer testes, com todas as combinações possiveis entre iluminação, temperatura, estados da janela, etc.

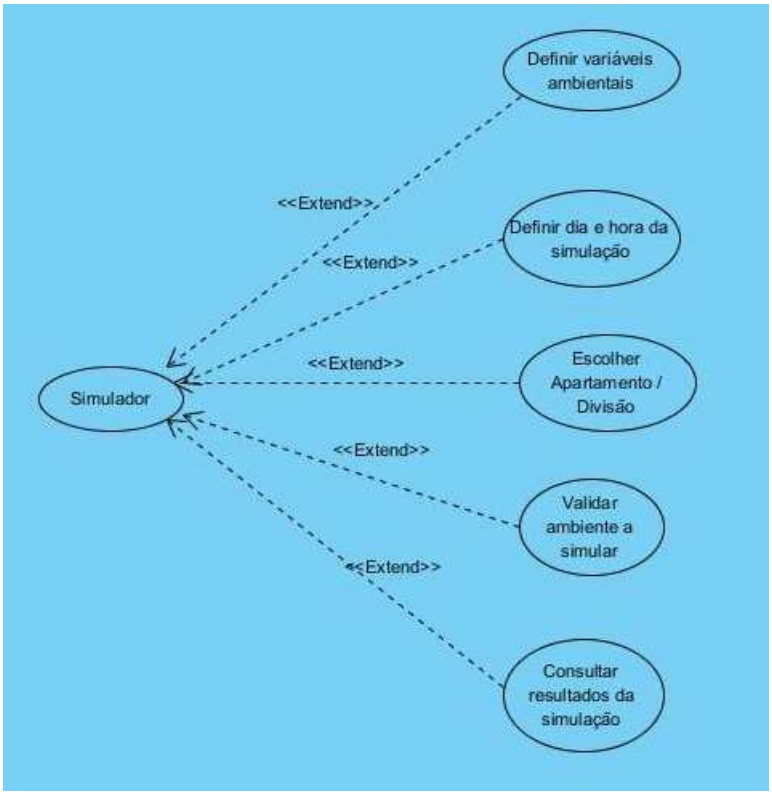


Figura 3.17: Casos de Uso relativos ao simulador.

Tal como na Figura 5.4 existe as seguintes opções no Simulador:

- *Definir variáveis ambientais* de modo a criar todas as situações possíveis que possam acontecer tal como no dia-a-dia, pois os valores em que o utilizador pode alterar são os mesmos que os sensores que fazem parte do *HESAS*. São eles a intensidade luminosa exterior e interior, temperatura exterior e interior, estado de abertura da janela e humidade existente no interior da divisão.

- *Definir dia e hora da simulação* dando a oportunidade ao utilizador de definir qualquer altura do ano, para testar nos diferentes solstícios, ou então definir a hora a que actualizou o ”sensor” simulado;

- Da mesma maneira que é possível visualizar para a consulta de resultados, no simulador também é possível *Escolher o Apartamento / Divisão* a simular porque cada divisão irá ter o seu perfil e valores previamente configurados, podendo assim deste modo criar modos de simulação em vários espaços diferentes;

- *Validar ambiente a simular* é o propósito principal do simulador, que após todos os valores inseridos pelo utilizador, será testada a situação ”criada em laboratório” em que o *HESAS*, caso detecte alguma comportamento energéticamente pouco eficiênte, irá disparar as suas regras;

- Por fim, *Consultar resultados da simulação* que, tal como o próprio nome indica, dará ao utilizador a possibilidade de ver os resultados após a análise do *HESAS* ao ambiente simulado.

3.4.2 Diagrama de Entidade e Relação

Os Diagramas de Entidade e Relação (DER) demonstram o desenho conceptual das aplicações das bases de dados. Eles definem as várias entidades (conceitos) de sistema de informação e as relações e restrições entre eles.

Uma Entidade é qualquer conceito no mundo real com uma existência independente, onde poderá ser um objecto com uma existência física (por exemplo, Apartamento) ou poderá ser um objecto com uma existência conceitual (por exemplo, Comportamento). Cada entidade possui um conjunto de atributos que descrevem as propriedades da própria entidade.

Utilizando como referência a topologia definida anteriormente na Figura 3.1, irá começar-se pelo topo do Diagrama de Entidade-Relação (ver Figura 3.18), ou seja, pela entidade topo do sistema: a entidade *Building*. Esta entidade define à partida com a definição do atributo *buildingType* a nomenclatura do sistema, isto é, o utilizador define em que topologia o *HESAS* se encontra instalado. O elemento *Building* contém também a informação do número do edifício e o número de apartamentos que possui, pois cada edifício irá ter *n* apartamentos.

A entidade *Apartament*, nesta topologia, contém as características de um apartamento, tal como o seu número e o número de divisões. Como esta entidade define também o utilizador (neste trabalho supõem-se que existirá um utilizador por apartamento) encontra-se além dos atributos referidos anteriormente o *username* de utilizador e respectiva *password* de acesso.

Tendo em conta que os resultados económicos finais estão relacionados com cada utilizador/apartamento foi também definido na entidade *Apartment* o consumo médio diário de energia, a taxa aplicada e o dinheiro acumulado devido a um comportamento mais eficiente por parte do utilizador.

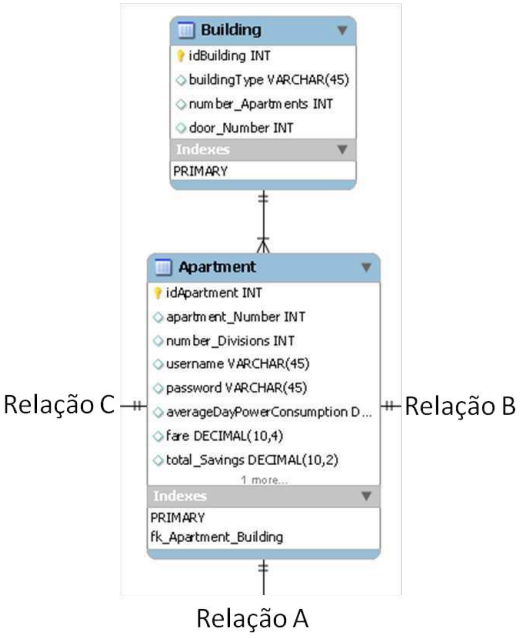


Figura 3.18: Detalhe do Diagrama Entidade-Relação relativo às entidades Building e Apartment.

A título de exemplo, caso o *buildingType* fosse um condomínio, automáticamente a nomenclatura alterava-se, onde em vez de *Apartments* ter-se-ia *Houses*. Mas apenas os conceitos seriam diferentes pois em nada iria alterar o normal funcionamento do *HESAS*.

Na Figura 3.19 encontra-se representado a continuação da figura anterior, pois tal como é a relação

entre *Building* e *Apartment* (1 para n), existe para cada apartamento *n* divisões, criando deste modo uma relação 1 para *n* entre a entidade *Apartment* e a entidade *Division*.

A entidade *Division* contém como atributos os vários valores ambientais, que caracterizam uma divisão, inseridos aquando o utilizador executa a funcionalidade de Configurar Sistema (ver Figura 3.14). Esta mesma entidade possui ainda um campo que define o tipo de divisão como por exemplo uma sala, um quarto, etc.

Como cada divisão é composto por uma rede sensorial, faz sentido a existência da entidade *Sensor*, que no fundo não é mais que o registo de todas as variações captadas pelos sensores dentro de uma determinada divisão.

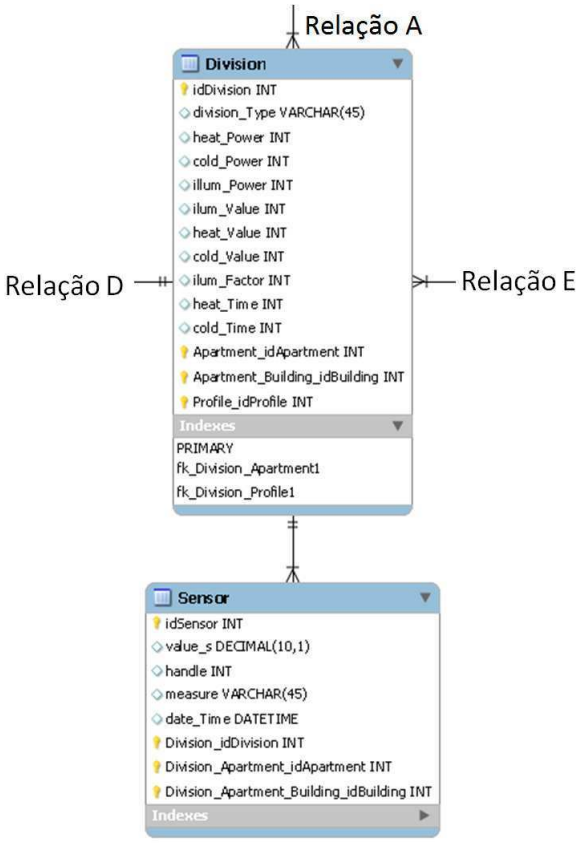


Figura 3.19: Detalhe do Diagrama Entidade-Relação relativo às entidades Division e Sensor.

Terminando os detalhes dos DER relacionados com a topologia do sistema, é de seguida apresentado o detalhe relativa ao comportamento dos inquilinos, como é possível visualizar na Figura 3.20.

As entidades associadas ao comportamento e respectivas análises são a entidade *Behaviour*, a entidade *Ranking* e a entidade *Types*.

A entidade *Behaviour*, que se encontra em relação com a entidade *Division* devido aos comportamentos estarem descriminados por divisão, possui o histórico e respectivas penalizações, de todos os comportamentos inferidos e que foram detectados como sendo incorrectos aos ”olhos” da eficiência energética.

Por outro lado, a entidade Ranking (relacionada com a entidade *Apartment* do mesmo modo que *Division-Behaviour*) é constituída pelo histórico de aconselhamentos gerados e as pontuações

agregadas aos inquilinos, no final do dia.

A entidade Type é caracterizada pelo tipo de comportamento registado (Iluminação, Temperatura, etc.) e pelo sub-tipo do mesmo comportamento (Luzes, Estores, Aquecedor, Ar Condicionado, etc.) sendo comum tanto à entidade *Behaviour,* para associar com os tipos de comportamentos inferidos, e com a entidade *Ranking,* de modo a associar com as mensagens de aconselhamento e respectivas pontuações.

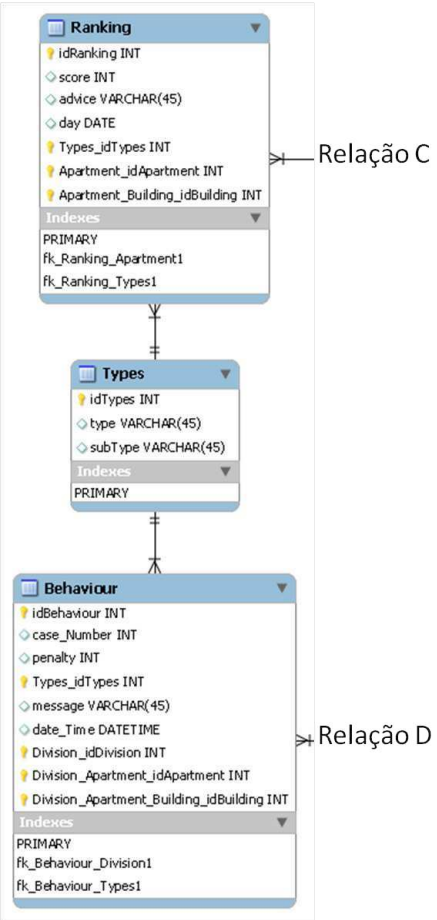


Figura 3.20: Detalhe do Diagrama Entidade-Relação relativo às entidades Types, Ranking e Behaviour.

A entidade *PowerMeter* encontra-se representada em detalhe na Figura 3.21 e é, à semelhança da entidade *Sensor*, um histórico das várias variações recebidas oriundas do contador de energia instalado para este trabalho, nomeadamente sobre consumos energéticos, valores de frequência, valores de corrente, entre outros. A sua grande finalidade é para dar a conhecer aos vários utilizadores as evoluções nos seus consumos energéticos no dia-a-dia e para os cálculos das comparações financeiras. A entidade *PowerMeter* contém uma relação de 1 para 1 com a entidade *Apartment*, pois é contabilizado um contador de energia por utilizador/apartamento.

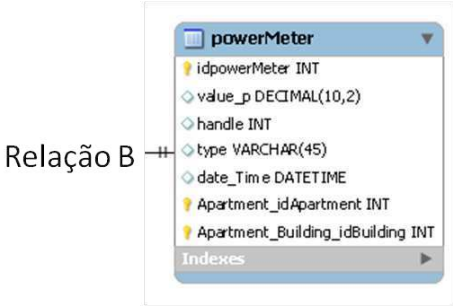


Figura 3.21: Detalhe do Diagrama Entidade-Relação relativo à entidade PowerMeter.

Por fim, a entidade Profile (ver Figura 3.22) é constituída por todos os dados relativos aos perfis energéticos, proveniente de uma relação n para 1 da entidade Division (devido ao facto de mais do que uma divisão poder ter o mesmo perfil energético). Os atributos foram já referenciados na anterior Sub-Secção 3.2.3.

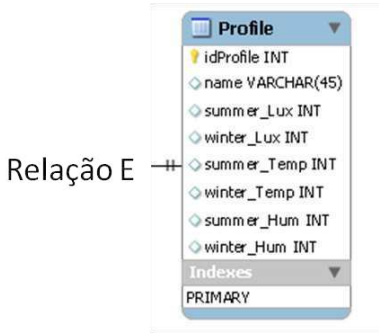


Figura 3.22: Detalhe do Diagrama Entidade-Relação relativo à entidade Profile.

Capítulo 4

Implementação do HESAS

No capítulo 4 é referenciado as várias ferramentas e tecnologias utilizadas para a execução e desenvolvimento deste trabalho e de seguida é demonstrado de como foi implementado o *HESAS* através de diagramas estruturais, nomeadamente diagramas de classe e diagramas de sequência. No final deste capítulo encontra-se várias ilustrações e respectivas descrições sobre a interface gráfica desenvolvida para o *HESAS*.

4.1 Tecnologias Utilizadas

Devido ao facto do Módulo de Recolha e Análise de Dados (ver Secção 3.3.1, do Capítulo 3) necessitar da plataforma *Microsoft Framework .NET* para o seu funcionamento, considerou-se como ferramenta de desenvolvimento do *HESAS* a linguagem C# pelo *Microsoft Visual Studio*™, já que é uma linguagem de programação orientada a objectos, permitindo desenvolver uma interface gráfica acessível ao utilizador e algoritmos de controlo sem a preocupação da alocação de memória e outros problemas relacionados.

Para a análise comportamental, tal como descrito na Secção 2.3, do Capítulo 2, o Prolog é melhor resposta para o problema de inferência dos comportamentos dos utilizadores devido à computação simbólica que envolve as regras de comportamento uma vez que necessitam de regras fornecidas pela experiência humana para que sejam eficientes. Outro ponto que foi bastante considerado para a sua escolha, foi o facto de a qualquer momento ser possível adicionar novas regras de comportamento, sem ser necessário reestruturar toda a lógica existente, devido ao modo de funcionamento do seu motor de inferência incorporado.

Visto que o motor de inferência está implementado em Prolog houve a necessidade de criar uma interface que pudesse comunicar de uma forma directa e flexível as regras criadas em Prolog e que estivesse inserida na plataforma .NET, de modo a tornar o desenvolvimento de programas a nível da camada de aplicabilidade mais fácil e intuitivo. Para tal foi utilizada a ferramenta *P#* que permite abstrair a interacção atrás referida.

No fundo, o P# compila uma extensão de lógica linear para a linguagem C#. Assim é possível criar objectos C# a partir do Prolog e utiliza-los juntamente com as outras bibliotecas e interfaces que fazem parte da linguagem C# [18].

Relativamente à Base de Dados do *HESAS*, a mesma é assegurada pelo sistema de gestão de bases de dados relacionais *Microsoft SQL Server 2008*.

Tal como o motor de inferência, a base de dados também necessita de uma interface, que garanta a comunicação entre a aplicação criada e o servidor da base de dados, necessária para a leitura e escrita de valores. Após alguma pesquisa considerou-se como opção mais coesa a ferramenta de interface *MySQL Connector/NE*T, pois permite aos programadores criar facilmente aplicações *.NET* em que necessitam segurança, alto reendimento na ligação de dados com o *MySQL [19]*.

4.2 Diagramas Estruturais e Comportamentais

4.2.1 Diagramas de Classes

Os diagramas de classes, que se englobam nos Diagramas Estruturais, mostram as diferentes classes que constituem um sistema e como elas se relacionam entre si, sendo são chamados de diagramas "estáticos" pois mostram as classes, com seus métodos e atributos bem como os relacionamentos estáticos entre elas.

Os diagramas de classes apresentados neste trabalho seguem a metodologia ICE, onde são estereotipadas com as seguintes características:

- Classes de Interface;
- Classes de Controlo;
- Classes de Entidade.

As classes de interface limitam-se a modelar as partes do sistema que dependem do ambiente facilitando a compreensão do sistema e dos seus limites, enquanto as classes de controlo e de entidade modelam as partes que são independentes de factores externos ao sistema.

Figura 4.1: Metodologia IEC.

As classes de interface são classes utilizadas para modelar a interacção entre o meio ambiente do sistema e os respectivos trabalhos internos. Esta interacção envolve transformar e converter eventos, bem como monitorizar mudanças na apresentação do sistema, tal como a interface. Portanto, alterar a GUI ou o protocolo de comunicação significa alterar somente as classes de interface, e não as classes de controlo ou entidade.

As classes de controlo são classes utilizadas para modelar um comportamento de controlo específico de um ou de vários casos de uso. Como os vários objectos de controlo geralmente controlam outros objectos (sejam eles de interface, controlo ou entidade), o comportamento dos objectos de controlo acabam por ser como os coordenadores de todo o sistema.

As classes de entidade, por sua vez, são classes usadas para modelar as informações e os comportamentos associados ao sistema que devem ser armazenados, isto é, os objectos de entidade são utilizados para manter e actualizar informações sobre variados elementos, como um evento, uma pessoa ou algum objeto real. Estes objectos geralmente necessitam de atributos e relacionamentos durante muito tempo, em que na maioria das vezes duram todo o tempo de vida do sistema. As classes de entidade fornecem um ponto de vista diferente do sistema, pois mostram a estrutura lógica dos dados, que ajuda a compreender, além das classes de interface, o que o sistema deve oferecer aos utilizadores.

Entre as classes de interface e as classes de controlo subsiste uma relacção de interacção pois ambas as classes interagem entre si. Por outro lado, entre as classes de controlo e de entidade subsiste uma relacção de dependência, ou seja, as classes de controlo necessitam, na sua grande maioria, dos objectos de entidade para a continuação dos seus procedimentos, sendo o caso de dependência mais notório representado neste trabalho a classe DatabaseViewer que se limita a apresentar os objectos de entidade existentes, os mesmos objectos que formam a base de dados do *HESAS*.

Existe, ainda, dependência entre algumas classes de controlo onde, tal como referido atrás, criam um efeito de coordenação dependendo uns dos outros para o funcionamento eficiente do sistema. É o caso entre as classes de controlo *HESAS_Ctrl* e *BehaviourCtrl*.

De seguida é descriminado a funcionalidade de cada classe criada (devido a extensivo tamanho do diagrama de classes, poderá ser consultado no Anexo C:

- A classe de interface *TaskBarI*, que será o primeiro GUI a ser apresentado ao utilizador, irá interagir com a classe de controlo *TaskBarCtrl*, fornecendo as funcionalidades base aquando é iniciado o *HESAS*, como por exemplo definir modo de funcionamento do sistema, restaurar janela principal, abrir a janela de guia e ajuda ao utilizador;

- A classe de interface *HomeFormI*, designada como janela principal do sistema, interage com a classe de controlo *HomeFormCtrl* disponibilizando um GUI que permite ao utilizador explorar o sistema através da sua configuração, visualização de vários dados e estados do sistema. A classe *HomerFormCtrl* encontra-se dependente das classes de controlo *OPCBackground* e *HESAS*_Ctrl;

- A classe de interface *PowerTimeI*, destinada à configuração do sistema, encontra-se interligada com as classes de controlo *PowerTimeCtrl* e *LearnPowerCtrl*. A classe PowerTimeCtrl processa a listagem da informação actual bem como a memorização dos valores inseridos pelo utilizador. Por outro lado, a classe *LearnPowerCtrl* tem como função gerir a aprendizagem automática do *HESAS* relativamente às variáveis de configuração, estando dependente da classe *OPCBackground*;

- A classe de interface *ShowValuesI*, em complemento com a classe de controlo *ShowValuesCtrl*, tem como objectivo disponibilizar ao utilizador todas as variáveis ambientais existentes no sistema em tempo real discriminados por cada divisão e apartamento, bem como todos os

respectivos alarmes disparados devido a comportamentos energéticos incorrectos (também em tempo real). Devido ao grande volume de actualizações a que é sujeito, a classe *ShowValuesCtrl* está fortemente dependente da classe de controlo *HESAS_Ctrl*;

- A classe de interface *DatabaseViewerI*, e respectiva classe de controlo *DatabaseViewerCtrl*, dá acesso directo à estrutura da base de dados do *HESAS* sendo, deste modo, possível a visualização de todos os valores captados pelos sensores, até então armazenados na base de dados, demonstrando como um histórico de toda as variações das variáveis ambientais ao longo do tempo;

- A classe de interface *SimuladorI*, em conjunto com a classe de controlo *SimuladorCtrl*, torna-se numa ferramenta que permite a simulação de um meio ambiente para uma determinada divisão existente no sistema. Com isto é possível à posterior solicitar ao *HESAS* a sua análise ao comportamento simulado, sendo deste modo um meio muito útil para validar o sistema em offline[1];

- A classe de controlo *HESAS_Ctrl*, é no fundo o cérebro de todo o sistema, sendo responsável por toda a coordenação dos vários processos envolventes, transformando-a como base de várias outras classes de controlo. De certo modo é possível considerar o classe *HESAS_Ctrl* como o ponto central entre o GUI e a lógica de controlo do sistema. No entanto esta classe é dependente de várias outras classes de controlo, sendo elas a *OPCBackground, prologCtrl, BehaviourCtrl e AdviserCtrl;*

- A classe de controlo *OPCBackground*, é no fundo responsável por toda a ligação com o OPC-Server, estando em permanente estado de espera por novos valores, isto é, é a classe responsável pela recolha dos dados oriundos do meio ambiental;

- A classe de controlo *prologCtrl* é responsável por fazer a interface entre o *HESAS_Ctrl* e o motor de inferência do sistema, construído sob a linguagem Prolog. Esta classe é, assim, chamada a intervir sempre que existir a necessidade de se inferir um novo comportamento energético, ou seja, será utilizada sempre que houver alterações nas variáveis ambientais;

- A classe de controlo BehaviourCtrl engloba todas as funções relacionadas com a interpretação dos resultados emitidos pelo motor de inferência, dando uma "etiqueta" aos comportamentos incorrectos relativamente às suas naturezas. Além desta sua função, a classe *BehaviourCtrl* está referenciada para calcular a grandeza de penalização que irá ser imposta ao utilizador;

- Por fim, a classe de controlo *AdviserCtrl* permite à classe de controlo *HESAS_Ctrl* ter acesso, tanto ao histórico de aconselhamentos existente, bem como a criação do aconselhamento dedicado para um determinado utilizador.

Como as classes de entidade foram destinadas exclusivamente aos objectos de dados, as mesmas não foram representadas uma vez que irão lidar com a gestão dos dados, tal como inserir, alterar, visualizar ou eliminar os atributos da base de dados do sistema. Atributos estes que já foram descritos anteriormente na Sub-Secção 3.4.2.

[1] Offline - Representa o estado de desligado.

4.2.2 Diagramas de Sequência

Os diagramas de sequência mostram a troca de mensagens entre os diversos objectos das classes, numa situação específica e delimitada no tempo, demonstrando um realce especial na sequência e nos momentos nos quais mensagens entre os objectos são enviadas. Estes tipos de diagramas são considerados como Diagramas Comportamentais.

De referir ainda que a comunicação entre as classes é feita invocando os métodos que as classes disponibilizam.

Relativamente a estes diagramas, e tendo em conta que se encontram por completo no D, será apenas detalhados os diagramas que se consideram mais importantes para o esclarecimento do leitor sobre o funcionamento do sistema.

4.2.2.1 Configurar Sistema

Na Figura D.1 do anexo D encontra-se o diagrama de sequências que corresponde ao caso de uso *Configurar Sistema*, com o actor *Utilizador*.

Esta funcionalidade é assegurada pela classe de interface PowerTimeI e a respectiva classe de controlo, PoweTimeCtrl.

Numa primeira instância, é disponibilizado graficamente ao utilizador todos os valores de configuração até então utilizados, de uma determinada divisão e respectivo apartamento, de modo a que se tenha melhor percepção dos valores a actualizar.

Após a análise do utilizador, é-lhe dado a opção de guardar manualmente ou utilizar o modo de aprendizagem automática.

Caso o utilizador prefira inserir valores à sua responsabilidade bastará altera-los, onde a classe *PowerTimeCtrl* se encarregará de actualizar a entidade *Division*, situada na base de dados, com os novos valores.

Por outro lado caso o utilizador opte pela opção de utilizar o modo de aprendizagem, irá caber à classe de controlo *LearnPowerTimeCtrl* a sequência da aprendizagem. Após a finalização do seu procedimento irá gravar, tal como a classe *PowerTimeCtrl*, na base de dados os valores de referência captados.

4.2.2.2 Modo de Funcionamento - Real

O diagrama de sequências do caso de uso *Definir Modo Funcionamento* encontra-se representado na Figura D.2, no entanto apenas se entrará em detalhes relativamente ao modo de funcionamento real. Devido ao tamanho do diagrama de sequências em questão, foi representada na Figura 4.2 uma parte do diagrama, de modo o leitor visualizar da melhor maneira este procedimento.

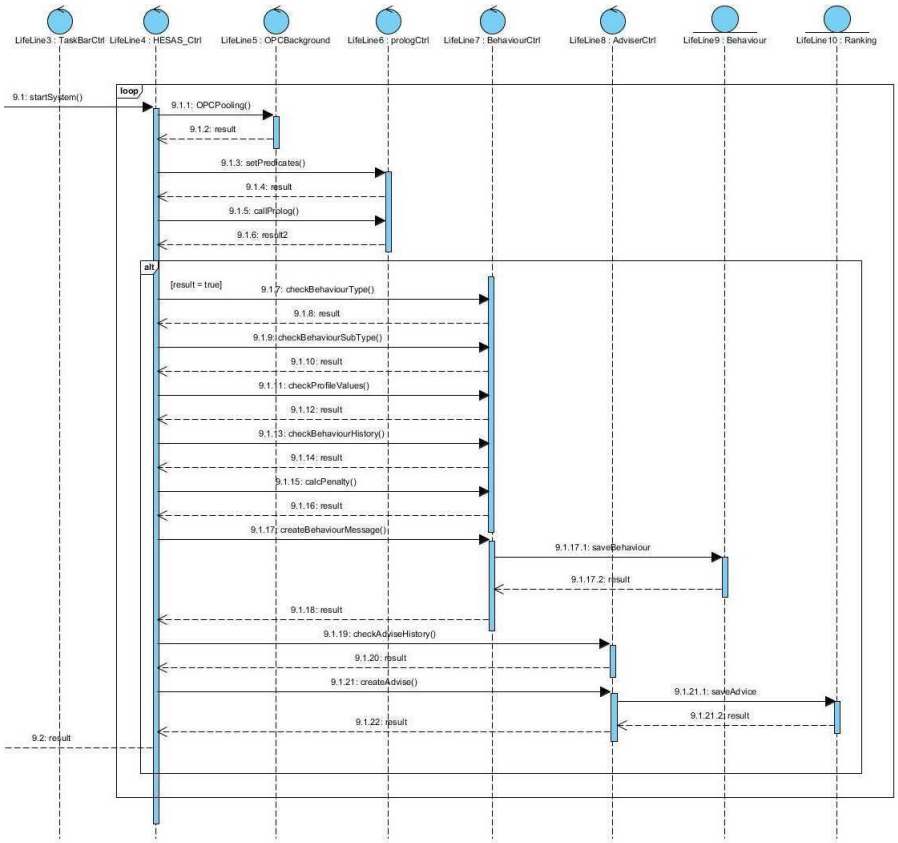


Figura 4.2: Diagrama de Sequência - Modo de Funcionamento Real.

Ao inicializar o modo de funcionamento real o *HESAS* entrará num permanente ciclo de captação de valores, análise de comportamentos e criação de aconselhamentos. Deste modo, é representado em diagrama de sequências este ciclo, com a classe *HESAS_Ctrl* a assumir todo o controlo. Com a chegada de um novo valor, proveniente das instâncias da classe OPCBackground, é de imediato reenviado para o motor de inferência juntamente com todos os argumentos necessários para a boa análise comportamental, entre eles: as restantes variáveis ambientais, o histórico de todas as variáveis ambientais, valores de referência que foram previamente configurados, etc.

Caso o motor de inferência devolva algum resultado positivo, ou seja, caso tenha sido inferido algum comportamento incorrecto no âmbito da eficiência energética em causa, o sistema irá calcular a penalização a colocar ao utilizador, isto é, através da detecção do tipo de comportamento, da comparação com os valores referênciados nos perfis energéticos, da verificação da existência de comportamentos do mesmo tipo efectuados pelo utilizador e consequentemente a verificação do número de ocorrências, será calculada o grau da gravidade que o comportamento inferido proporcionou ao meio ambiente.

Mediante do tipo de penalização e da especificidade da situação é calculada é criado um aconselhamento próprio e dedicado ao utilizador.

De referir que os ambos obtidos sobre a análise do comportamento e a criação de aconselhamentos serão gravados na base de dados, nomeadamente nas entidades *Behaviour* e *Ranking*.

Ainda dentro do modo de funcionamento real, o *HESAS* ao detectar que o dia terminou, irá ter um procedimento em particular ao fazer um levantamento das ocorrências que surgiram durante do

dia fazer um balanço do dia para futura referência.

Para tal, no diagrama de sequências do modo de funcionamento real, é ainda calculado o ranking energético do dia, passando também pela inclusão do valor na base de dados, mais propriamente na entidade *Ranking* (ver Figura 4.3).

De modo ser possível demonstrar via Website, tal como descrito na Sub-Secção 3.3.2 do Capítulo 3, é inserido na entidade *Apartment* uma estimativa de poupança económica total, acumulada desde a inicialização do *HESAS*, através da verificação diária da energia consumida disponibilizada na entidade *PowerMeter*, composta com valores proveniente do contador de energia do *HESAS*.

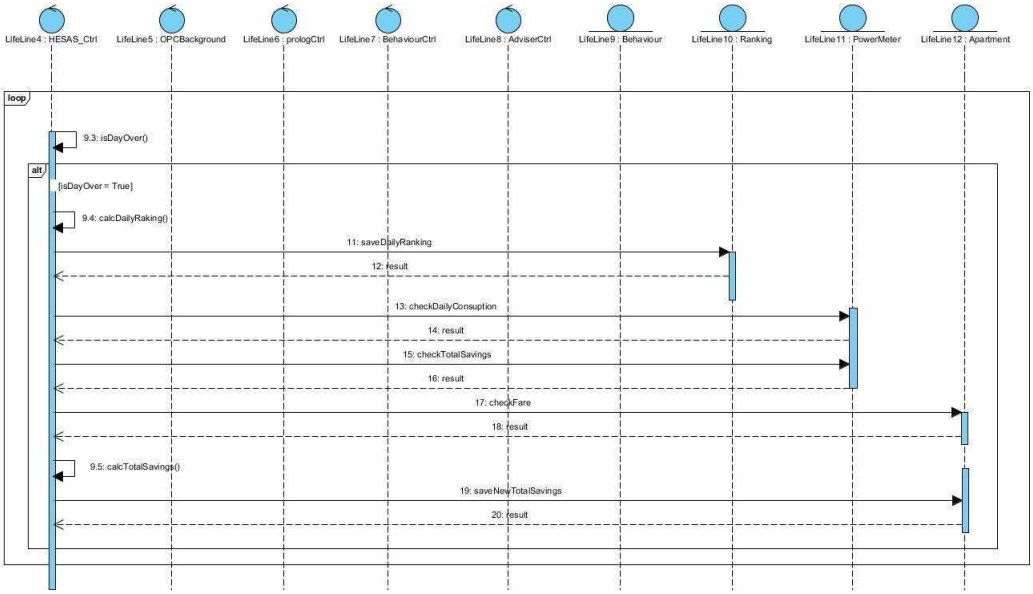


Figura 4.3: Diagrama de Sequência - Procedimento do *HESAS* no final do dia.

4.2.2.3 O Simulador

Como diversas vezes mencionado neste trabalho, está a disposição do utilizador o simulador do sistema sendo o seu diagrama de sequências, referente ao caso de uso Simulador, representado em anexos na Figura D.4.

O simulador é composto por diversas opções colocadas ao utilizador, passando pelas várias variáveis ambientais, onde a qualquer momento o utilizador pode actualizá-las individualmente.

Assim que o utilizador pretenda, poderá analisar o meio ambiente simulado à procura de eventuais alarmes após uma análise do motor de inferência, tal como acontecesse caso o *HESAS* se encontrasse no modo real.

Caso se pretenda guardar todas as variações provocadas nas variáveis ambientais, bem como todos os comportamentos detectados como incorrectos pelo simulador, existe a opção de gravar na base de dados ambos os dados, sendo a variação dos valores na entidade *Sensor* e os resultados do motor de inferência na entidade *Behaviour*.

4.3 Interface Gráfica Desenvolvida

A interface gráfica, onde se baseia o *HESAS*, demonstra toda a informação disponível no sistema sobre todos os utilizadores, o que remete para uma utilização mais restrita, onde apenas o admistrador poderá ter acesso.

Ao executar o *HESAS* é solicitado ao utilizador a introdução das credenciais de acesso ao sistema, que passa pelo um *username*[2] e uma *password*[3], tal como mostrado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Janela de autenticação para ter acesso ao *HESAS*.

Caso a autenticação do utilizador seja válida é apresentado de seguida um ícone na Área de Notificação do Windows[4], com o ícone do programa, onde ao clicar com o botão direito do rato abre um menu com um leque de variadas opções, como é possível visualizar na Figura 4.5.

Figura 4.5: Ícone na Área de Notificação, com o respectivo menu.

Neste menu é possível escolher as seguintes opções:

- Restore - Restaurar o menu inicial do *HESAS*;
- Mode - Escolher entre o modo de funcionamento do *HESAS*, sendo eles o modo automático (Real), modo de simulação (Simulation) e o modo de pausa de funcionamento (Stop);
- Help - Abrir uma janela em que ajuda passo-a-passo todos os pontos da interface gráfica;
- About us - Mencionamento dos autores do *HESAS*;
- Close - Terminar o *HESAS* e sair da aplicação.

[2]Username - Identificação que uma pessoa.
[3]Password - Palavra-Chave.
[4]Windows - Marca dos Sistemas Operativos lançados pela Microsoft.

Ao abrir o menu principal, neste caso clicando em «Home», aparece a janela representada na Figura 4.6 onde se pode ter uma noção geral do estado do sistema, mais concretamente em relação à comunicação da Aplicação Computacional à base de dados e entre a Aplicação Computacional e a camada física, a informação ambiental.

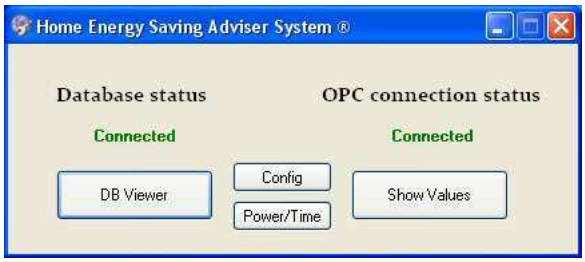


Figura 4.6: Janela principal do *HESAS*.

Através desta janela é possível:

- Visualizar o estado da ligação do *HESAS* com a sua base de dados;
- Visualizar o estado de ligação do *HESAS* com o OPC Server;
- Configurar o sistema, clicando em «Config» de modo a alterar variadas características, ou caso seja a primeira utilização preparar o *HESAS* para ser inicializado (trabalho realizado paralelamento no Módulo de Análise e Recolha de Dados);
- Definir potências dos equipamentos instalados e respectivas constantes de tempo, clicando em «Power/Time», em todas as divisões de todos os utilizadores, que o sistema irá englobar;
- Visualiar quaisquer dados existentes na base de dados, clicando em «DB Viewer»;
- Visualiar todos os valores ambientais, bem como todos os alarmes e aconselhamentos energéticos de cada divisão, clicando em «Show Values».

Ao se desejar definir as potências e constantes de tempo envolvidadas no sistema, será apresentado a janela que se encontra na Figura 4.7

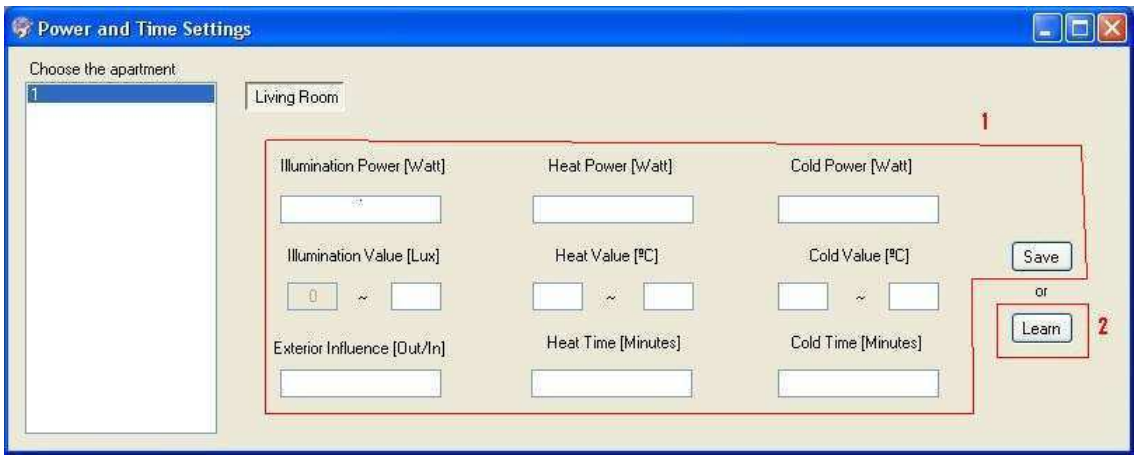


Figura 4.7: Janela para defenir potências e constantes de tempo do sistema.

Aqui ao se escolher um apartamento e uma divisão, no campo 1 é possível editar as potências dos equipamentos de iluminação, aquecimento e de arrefecimento, bem como os seus valores de variação e as contantes de tempo de cada equipamento, que no caso da iluminação em vez de constante de tempo existe o campo do factor da luz exterior sobre a luz interior.

Esta janela de configuração é obrigatória e será sempre solicitado ao utilizador, caso ainda não o tenha feito, ao seleccionar o modo Real ou de Simulação para a introdução dos valores pretendidos.

Estes valores são utilizados directamente aquando da análise comportamental de cada utilizador, o que torna necessário serem actualizados sempre que exista alguma alteração nos materiais instalados nas habitações.

No entanto caso o utilizador opte pela aprendizagem automática do *HESAS* relativamente aos valores consequentes dos equipamentos (com excepção das potências, que terá sempre que ser inseridos manualmente) e as respectivas constantes de tempo, ao clicar em «Learn» irá-se dar início ao modo de aprendizagem descrito na Sub-Secção atrás descrita 3.2.2 e implementado na Secção 5.1.

Relativamente ao botão «DB Viewer» para o caso de se desejar visualizar valores que se encontram dentro da base de dados do sistema, é aberta a janela que se encontra na Figura 4.8.

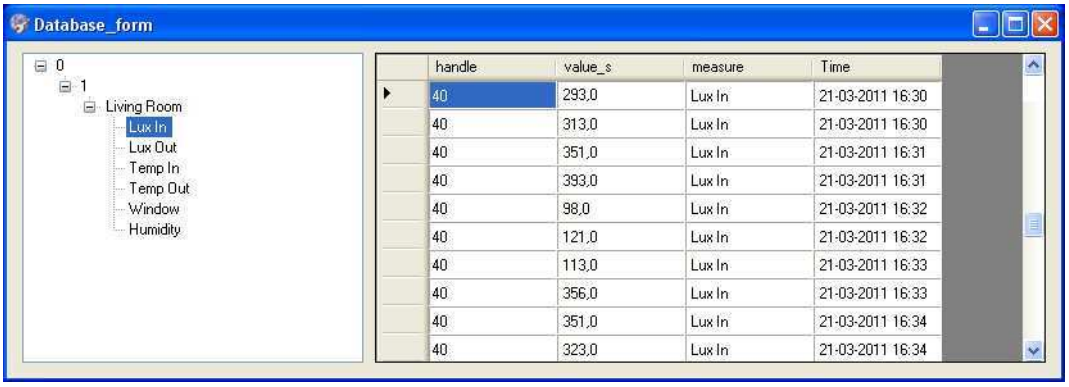


Figura 4.8: Janela para vizualizar a base de dados do sistema.

Por outro lado, para se visualizar as variáveis ambientais que se encontram dentro das habitações e respectivas divisões, após clicar «Show Values», existe a seguinte janela como é demonstrado na Figura 4.9.

Estes valores encontram-se em permanente alteração e são consultados em tempo real, ou seja, sempre que existe um novo impulso com informação de um determinado sensor, a alteração do valor será visível no mesmo instante nestes campos.

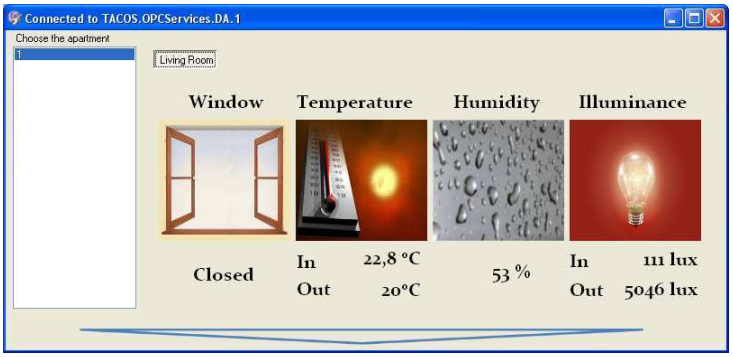


Figura 4.9: Janela para vizualizar as variáveis ambientais do sistema.

Nesta janela, caso pretenda visualizar os alarmes do *HESAS* relativos a maus comportamentos energéticos de um determinado utilizador, basta clicar na seta a azul e a janela em que se encontra irá expandir-se com a informação desejada. Um exemplo deste caso é a Figura 4.10.

Todos estes valores ambientais e dos alarmes demonstrados só são possíveis visualizar caso o *HESAS* se encontre no modo automático, ou seja, estes valores irão demonstrar os valores reais que o *HESAS* analisará e sobre os quais serão analisados.

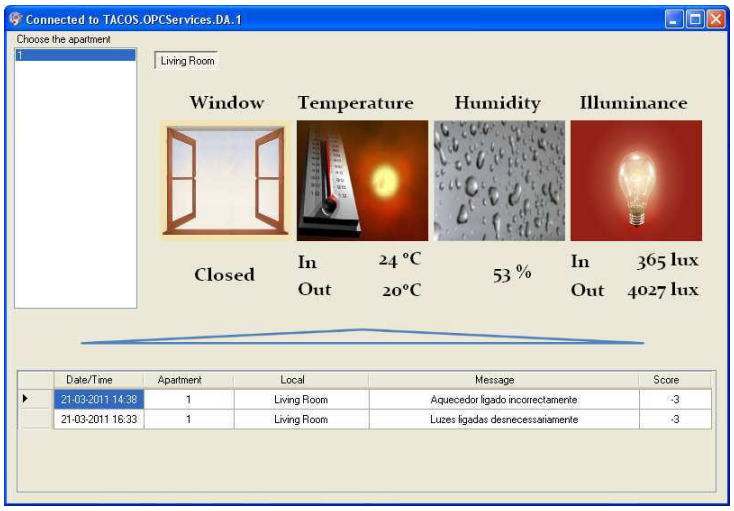


Figura 4.10: Janela para vizualizar os alarmes disparados.

De modo a testar o sistema, ou para criar situações hipotéticas e visualizar os seus resultados foi implantado um simulador do *HESAS*.

O simulador, como atrás referido, pode ser acedido através do ícone da Área de Notificação e ao ser seleccionado coloca o *HESAS* completamente em *stand-by*, o que quer dizer que enquanto o utilizador se encontrar no modo de simulação o *HESAS* não se encontrará a recolher informação ambiental proveniente dos sensores, e por sua vez, não irá analisar nem criar novos aconselhamentos reais, ficando o Módulo de Análise Comportamental e Aconselhamento Dedicado reservado para o simulador.

Na Figura 4.11 encontra-se a janela que corresponde ao simulador.

É possível simular todas as divisões do sistema, onde ao escolher uma é possível definir todas as variáveis ambientais no campo 1, e actualizá-las uma a uma consoante o desejado, tal com o tempo da amostra de cada variável.

Por exemplo, o utilizador ao actualizar a temperatura interior «Temp In» para o valor 5ºC e definir como 30 minutos de «Sample Time» estará a dizer ao *HESAS* que a temperatura interior da sala subiu dos 0ºC para os 5ºC em meia hora, o que pode significar um aumento de temperatura natural, consoante as restantes temperaturas ambientais.

Por outro lado, se o utilizador escolher para a mesma variação de temperatura interior um «Sample Time» de 40 segundos, poderá significar um aquecedor na sala e consoante o contexto poderá significar ou não um mau uso de energia.

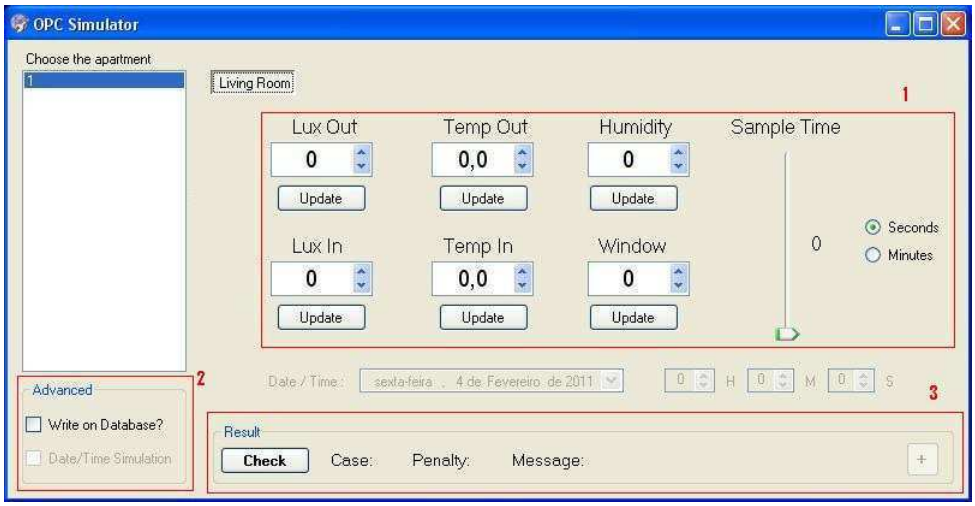


Figura 4.11: Visão geral do simulador.

No campo 2 é dada ao utilizador a possibilidade de registar todas as actualizações que faz no simulador na base de dados do *HESAS*, tal como a definição ou não de um dia e horas em concreto para as acções que simular.

No campo 3, após o utilizador clicar «Check», caso o *HESAS* detecte maus usos de energia irá originar alarmes e respectivas penalizações. Caso exista mais do que um alarme o botão com o sinal «+» ficará activo, onde o utilizador ao clicar será emitido um pop-up com a lista de todos os maus comportamentos detectados e respectivos comentários criados pelo *HESAS*, segundo as condições criadas pelo utilizador no simulador, como é possível visualizar na Figura 4.12.

Figura 4.12: Pop-up do simulador com lista completa de alarmes.

Por fim é ainda disponibilizado ao utilizador, sempre que surgir eventuais dúvidas a respeito da utilização do *HESAS*, uma janela de ajuda (ver Figura 4.13) que descreve, semelhante ao que foi dito anteriormente, as opções a que utilizador tem acesso nas várias janelas que poderá visualizar na interface gráfica desenvolvida.

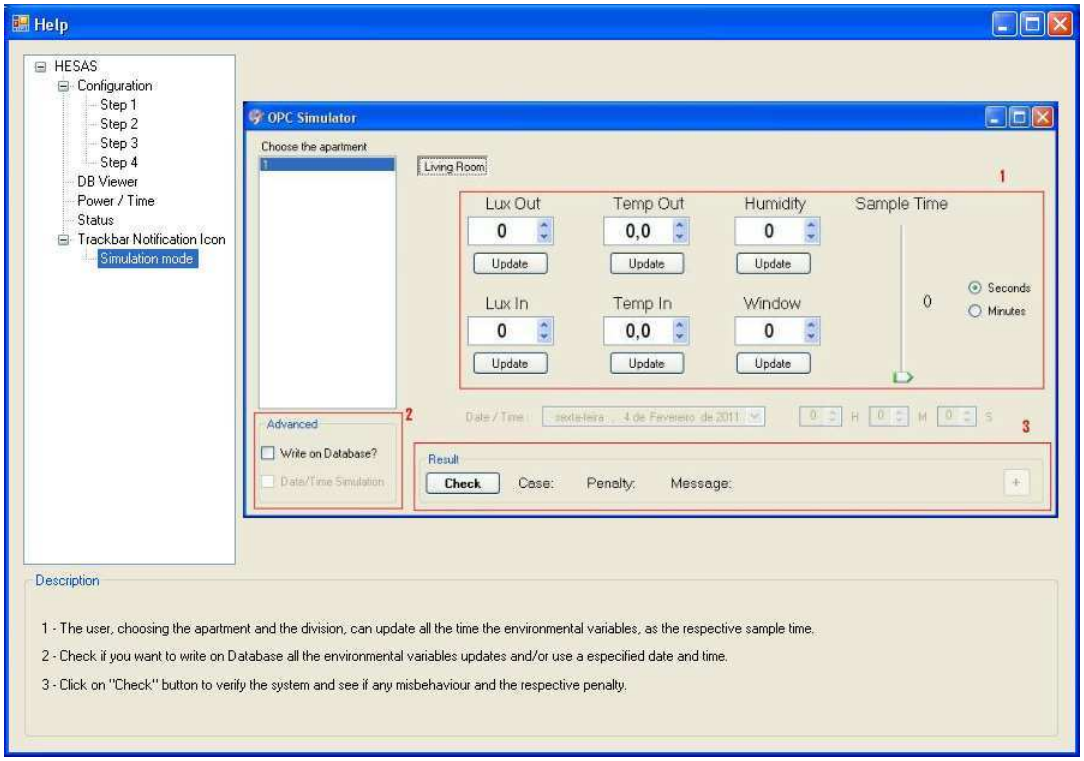


Figura 4.13: Janela de Ajuda.

Capítulo 5

Exemplo de Utilização/Validação

Neste capítulo é apresentado os vários modos de funcionamento que o *HESAS* dispõe ao utilizador através de demonstrações da aplicação em cenários reais, no caso do Modo de Aprendizagem e Modo Real que decorreram durante a semana de 21 a 27 de Março de 2011, e simulações efectuadas ao *HESAS* com a finalidade de o testar e validar através do Modo de Simulação.

5.1 Modo de Aprendizagem

À margem da configuração da estrutura do sistema, em que o *HESAS* irá funcionar, existe tal como demonstrado na Figura 4.7 uma janela de configuração para que o utilizador possa definir as potências dos equipamentos instalados dentro de cada divisão, tal como alguns valores necessários relativos às variáveis ambientais, para a uma melhor análise comportamental por parte do *HESAS*.

Tal como descrito na Secção 4.3 existem dois modos de configurar estas variáveis: modo manual e modo de aprendizagem. No modo manual o utilizador insere os valores que deseja no sistema à sua responsabilidade, enquanto no modo de aprendizagem o sistema efectua a recolha dos valores por si mesmo.

É sobre o modo de aprendizagem que será falado seguidamente.

O utilizador para activar esta opção, necessita de clicar em «Learn», o que permite o aparecimento da seguinte janela:

Figura 5.1: Ponto inicial do modo de aprendizagem.

Pela Figura 5.1 é possível verificar que o processo de aprendizagem se divide em quatro momentos, sendo destinado dois momentos para a iluminação e um momento cada para o aquecimento e

arrefecimento, respectivamente. Será também apresentado o tempo total que o *HESAS* levará para executar todos os momentos de aprendizagem referidos.

Para dar início à aprendizagem, assim que o utilizador desejar, poderá clicar em «Start», começando o primeiro momento aprendizagem, nomeadamente «Ilumination(1)» (ver Figura 5.2). Neste momento o *HESAS* irá descobrir o factor de influência que existe entre a iluminação exterior e a iluminação interior, tal como descrito na Sub-Secção 3.2.2.

Com o intuito de a aprendizagem ser a mais exacta possível, é pedido ao utilizador que deixe a luz exterior entrar na sua divisão, abrindo os seus estores. É também solicitado que o utilizador saia da sala, durante 5 minutos, de modo a não haver quaisquer interferências sobre o sensor de luz interior.

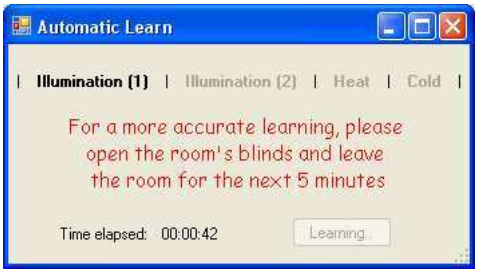


Figura 5.2: *HESAS* a detectar o factor de influência da luz exterior.

Após o *HESAS* terminar a anterior aprendizagem, é solicitado ao utilizado fechar os estores da sala na sua totalidade, de modo a que fique o mais escuro possível, e passado 5 minutos, tempo mais que suficiente para o sensor de luz se adaptar, ligar as luzes da divisão e aguardar pela aprendizagem do valor de iluminação.

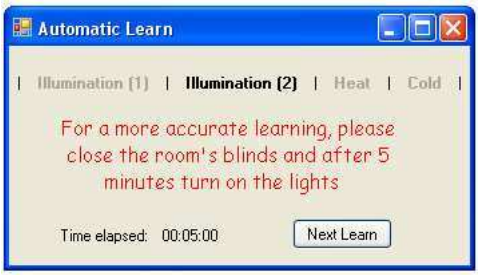


Figura 5.3: Momento após a detecção do factor da influência da iluminação exterior.

Para dar início a este modo o utilizador irá clicar em «Next Learn». Durante a aprendizagem, o *HESAS* estará a detectar apenas a iluminação apenas provocada pela iluminação artificial. A janela irá encontra-se tal como a seguinte figura:

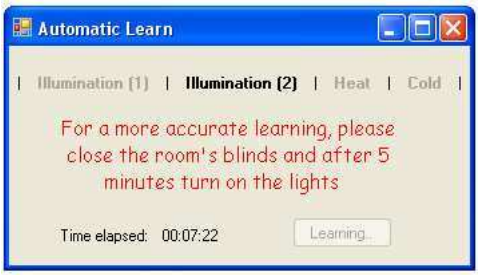


Figura 5.4: *HESAS* a detectar o valor de iluminação provocado apenas pelas luzes.

Depois do *HESAS* ter aprendido qual a intensidade luminosa que a iluminação artificial, da divisão, consegue emitir é de seguida apresentado o próximo modo de aprendizagem (ver Figura 5.5): o aquecimento.

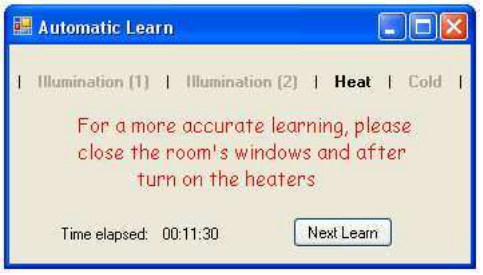


Figura 5.5: Momento após a detecção do valor de iluminação interior.

O utilizador ao clicar, novamente, em «Next Learn» irá activar a aprendizagem da constante de tempo de aquecimento, contando com variações de temperatura. Para tal variação acontecer, é solicitado ao utilizador que feche a janela da sua divisão e de seguida ligue os respectivos aquecedores. Com o decorrer da detecção dos referidos valores é visível a seguinte figura:

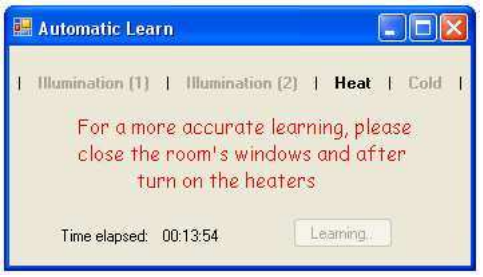


Figura 5.6: *HESAS* a detectar aquecimento e respectiva constante de tempo.

Terminado a aprendizagem das variações de temperatura e respectiva constante de tempo, estamos agora perante o último modo de aprendizagem, tal como é possível visualizar na Figura 5.7.

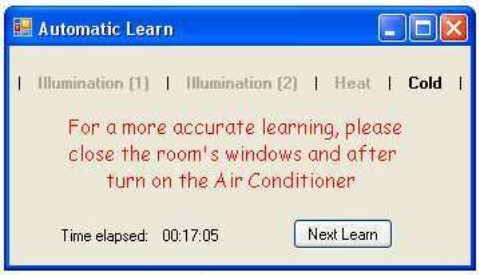


Figura 5.7: Momento após a aprendizagem relativa ao aquecimento.

Durante este modo, à margem do que acontece com o modo de aprendizagem anterior, as janelas continuam fechadas mas desta vez, em vez dos aquecedores, o ar condicionado é ligado.

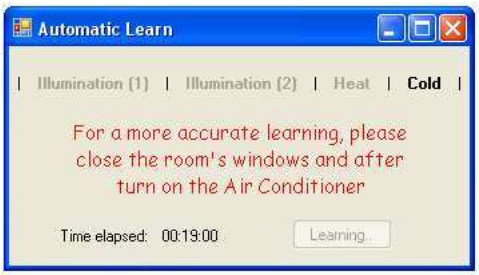


Figura 5.8: *HESAS* a detectar o arrefecimento e respectiva constante de tempo.

Finalmente, e com a detecção das variações de temperatura registadas com o arrefecimento da sala e a respectiva constante de tempo, o *HESAS* termina o seu modo de aprendizagem, neste caso, em 21 minutos e 40 segundos, tal como demonstra a Figura 5.9.

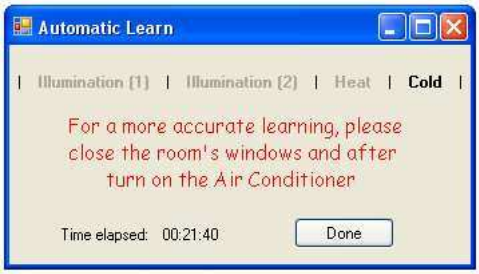


Figura 5.9: Momento em que o modo de aprendizagem do *HESAS* termina.

Findo todo o processo de aprendizagem, serão apresentados ao utilizador todos os dados que o *HESAS* captou e calculou respectivos à divisão e apartamento seleccionados (ver Figura 5.10). Caso o utilizador pretenda, poderá correr novamente o modo de aprendizagem ou se preferir fazer acertos manualmente.

Estes dados poderão ser alterados a qualquer altura e as vezes que for pretendido pelo utilizador, mesmo durante o funcionamento do modo automático do *HESAS* (descrito no Capítulo 3).

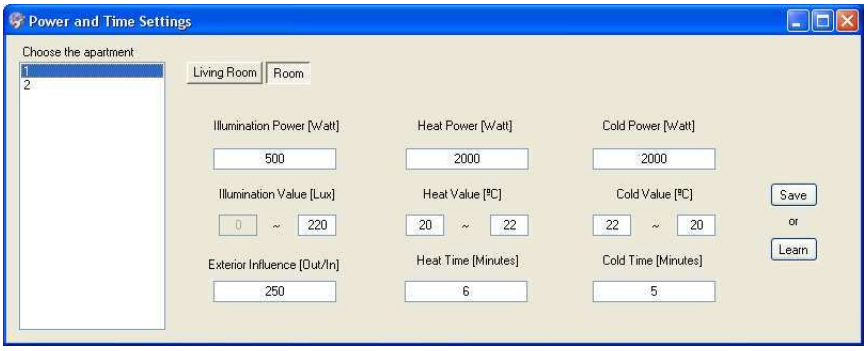


Figura 5.10: Disposição dos valores após a o modo de aprendizagem.

5.2 Modo Real

No decorrer da semana de 21 a 27 de Março de 2011 o sistema ficou a correr no Laboratório 1.4 do Departamento de Engenharia Electrotécnica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, tendo sido criadas variadas situações de disparo de regras e respectivos avisos e aconselhamentos ao longo dos dias da semana por parte do *HESAS*.

Assim, em termos de nomenclatura, a habitação (constituída por apenas uma divisão) em teste será o laboratório utilizado.

Antes de avançar com os resultados obtidos, é importante esclarecer junto do leitor que o processo de análise comportamental e geração dos aconselhamentos dedicados foi desenvolvido neste trabalho, sendo que as imagens apresentadas fazem parte da interface gráfica do *HESAS*, no entanto o ambiente gráfico para aceder unicamente aos resultados foi desenvolvido pelo Módulo de Interface Web com o Utilizador criado num trabalho paralelo a este, mencionado na Sub-Secção 3.3.2.

De seguida será então feita uma descrição das acções de cada dia e as consequentes mensagens de aviso.

21 de Março

Começando pelo início da semana, numa Segunda-Feira, dia 21 de Março ao início da tarde os sensores verificavam uma temperatura exterior de 20 ºC e 18 ºC no interior do laboratório. Foi então ligado um aquecedor de 2000 W, verificando-se um aumento de temperatura interior para 22,8 ºC. Assim sendo, foi então enviada uma mensagem de aviso relativamente ao aquecedor, visto que a temperatura exterior manteve-se e a interior aumentou em 4 ºC num curto período de tempo, significando assim que uma fonte de calor não natural foi activada.

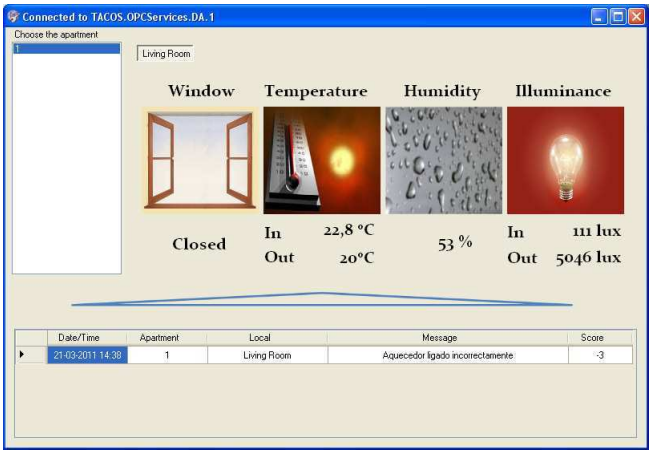


Figura 5.11: Alarme sobre temperatura no dia 21 de Março.

Ao meio da tarde, por volta das 16:30 horas o sensor de iluminação exterior detectava 4027 lux, quando o sensor interior marcava 98 lux. Ligando as luzes interiores, existiu uma variação de iluminação interior de 267 lux, registando-se agora um valor de 365 lux. Visto que o sensor exterior não detectou uma variação de iluminação tão acentuada, o sistema envia a mensagem indicando que as luzes foram ligadas desnecessariamente. De notar que este dia não está listado na tabela da Figura 5.17, pois esta apenas lista as últimas cinco mensagens de aviso.

No entanto a mesma mensagem é descrita na interface gráfica, sendo adicionado um campo abaixo do anterior, como é possível visualizar pela Figura 5.12.

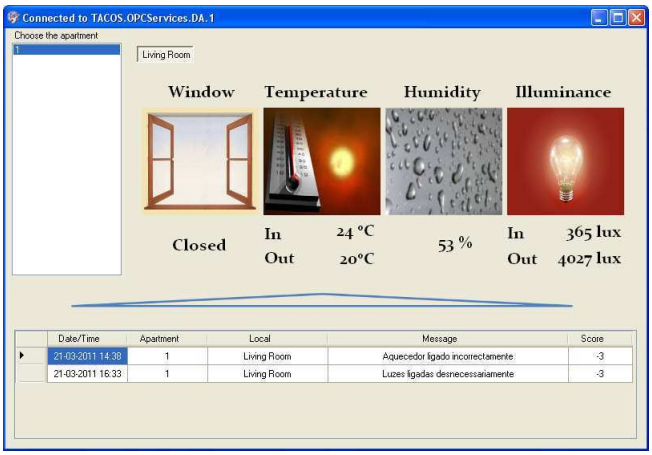


Figura 5.12: Alarme sobre iluminação no dia 21 de Março.

Ao fim do dia foi então gerado o respectivo aconselhamento. Sendo que houve comportamentos menos eficientes relativamente ao aquecimento e à iluminação, o sistema entra em conta com a potência consumida em ambos os casos, concluindo que foi o aquecimento que consumiu mais energia entre estes dois casos. Assim, o aconselhamento gerado incidiu sobre o aquecimento, como se pode observar na Figura 5.18.

22 de Março

Na Terça-Feira foi o dia em que se testou os aspectos relacionados com as janelas e estores. Às 11:17 horas a temperatura exterior era de 17 ºC, sendo que no interior estavam 19,2 ºC. Por essa altura

foi então aberta uma janela, pelo que passado algum tempo a temperatura interior desceu abaixo do nível de conforto indicado pelo utilizador aquando da configuração do sistema, notando-se de seguida uma ligeira subida de temperatura com a janela ainda aberta e temperatura exterior estável, indicando assim o accionamento de um aquecedor. Consequentemente, foi então gerada uma mensagem de aviso da abertura indevida da janela.

Mais tarde, às 17:02 horas existe uma iluminação exterior de 7171 lux e 347 lux no interior. São fechados os estores do laboratório, havendo um decremento da iluminação interior para 40 lux, e de seguida são ligadas as luzes incrementando assim a iluminação interior para 335 lux. Durante este processo não houve alterações significativas na iluminação exterior, indicando que os estores foram fechados e as luzes artificiais ligadas quando existia iluminação exterior suficiente para iluminar a sala, fazendo assim disparar a mensagem de aviso que aparece na Figura 5.13.

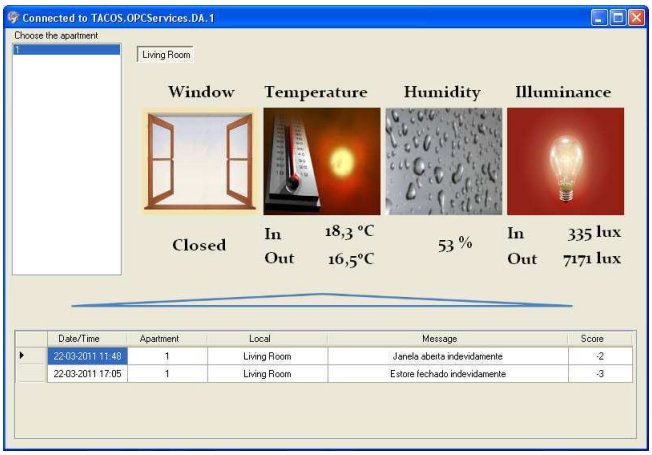


Figura 5.13: Alarmes gerados ao longo do dia 22 de Março.

No final do dia foi então gerado o aconselhamento diário indicando que no presente dia houve um consumo de energia desnecessário devido à abertura indevida das janelas (Figura 5.18). Mais uma vez, o aconselhamento gerado foi sobre a abertura das janelas e não sobre o fecho dos estores devido ao consumo extra associado ao aquecimento da sala, pois o aquecedor consome mais energia do que a iluminação da sala.

23 de Março

Neste dia às 12:31 horas foi repetido o processo de ligar o aquecedor indevidamente (como no primeiro caso do dia 21 de Março). As temperaturas rondavam a mesma ordem de valores, tendo sido assim despoletado uma mensagem de aviso igual. No entanto, como esta seria a segunda vez a acontecer o mesmo desperdício de energia, a penalização associada a esta acção foi maior (ver Figura 5.14).

Por volta das 14h da tarde foi também repetida a acção de abrir a janela indevidamente (como no dia anterior), gerando o mesmo aviso de repreensão relativamente à abertura das janelas.

Como seria de esperar, o aconselhamento diário foi direccionado ao aquecimento, pois ambos os comportamentos incidiram sobre o aquecimento desnecessário da habitação.

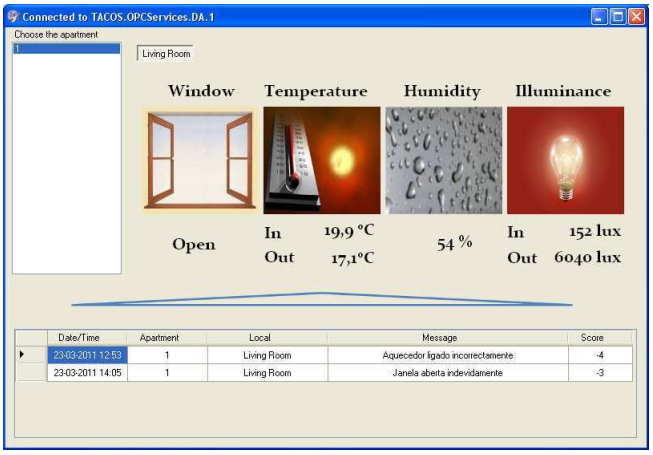


Figura 5.14: Alarmes gerados ao longo do dia 23 de Março.

24 de Março

No dia 24 de Março foram novamente ligadas as luzes desnecessariamente. No entanto, foi durante muito pouco tempo influenciando assim positivamente a penalidade associada a esta acção. Para comprovar tal facto visualiza-se na Figura 5.15 que o aconselhamento gerado neste dia é menos duro do que os anteriores, devendo-se à penalização deste comportamento ser menos severa.

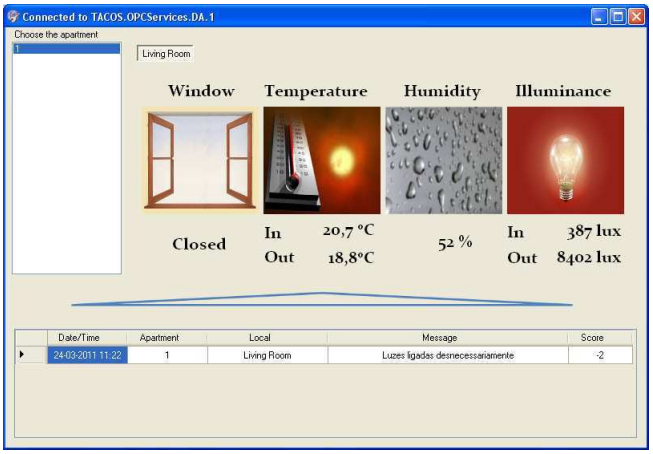


Figura 5.15: Alarmes gerados ao longo do dia 24 de Março.

25 de Março

Na Sexta-Feira de 25 de Março foi realizado um teste ao aconselhamento positivo, isto é, à geração de uma mensagem de motivação ao utilizador por ter efectuado um comportamento eficiente ao longo do dia. Aproveitou-se o facto de haver algumas nuvens por volta das 10:30 horas, e ligou-se as luzes do laboratório. O sensor de iluminação exterior detectava um valor de 2163 lux, quando no interior estavam 363 lux. Cerca de 20 minutos depois as nuvens dispersaram um pouco, passando a haver uma iluminação exterior de 4492 lux. Nesse preciso momento foram desligadas as luzes do laboratório, sendo que a iluminação interior passou de 491 lux para 329 lux.

Sendo que o sistema detectou a variação de iluminação exterior e a par detectou as luzes a serem desligadas, este foi inferido como um bom comportamento energético, não existindo assim penaliza-

ções, o que fará com que seja gerando uma mensagem de felicitação que se pode visualizar na Figura 5.18.

26 de Março

Mais uma vez, neste dia foi apenas repetido o processo de abertura indevida dos estores do laboratório (como no dia 22 de Março), consumindo assim energia desnecessária através da iluminação interior, quando no exterior havia luz suficiente para iluminar o laboratório.

Assim, no final do dia foi gerado um aconselhamento dedicado aos estores (Figura 5.18) para que o utilizador se sinta ainda mais motivado a fazer alterações no seu estilo de vida em prol de uma maior eficiência energética.

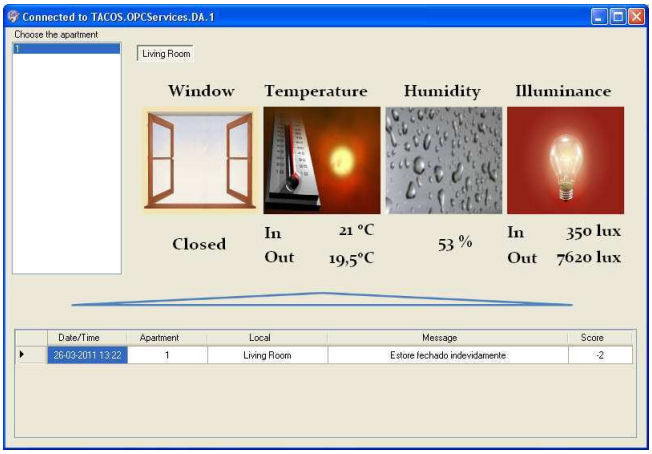


Figura 5.16: Alarmes gerados ao longo do dia 26 de Março.

27 de Março

Por fim, no último dia de testes, Domingo dia 27 de Março, foi de novo testado um aconselhamento positivo, desta feita sobre o aquecimento. Para tal foi simulado um dia bastante quente, aquecendo o sensor de temperatura exterior até aos 38 ºC (temperatura exterior de um dia quente de Verão). No interior simulou-se uma temperatura de 15 ºC. O passo seguinte foi abrir a janela, de modo a que a temperatura exterior tenha maior influência sobre a interior. Assim, em vez de ser ligado o aquecedor interior, a alta temperatura exterior faz subir a temperatura interior, poupando o consumo energético por parte de aquecedores adicionais.

Deste modo, consegue-se a mensagem de motivação no aconselhamento diário presente na Figura 5.18. De notar que esta mensagem é bastante mais motivadora do que a mensagem gerada no dia 25 de Março, pois a energia poupada neste caso foi bastante superior, visto os aquecedores eléctricos consumirem bastante mais do que a iluminação de qualquer divisão habitacional.

Interface Gráfica via Web

Tal como referido anteriormente, os resultados dos aconselhamentos dedicados encontram-se disponibilizados via Web criado num outro trabalho paralelo a este. No entanto são apresentadas de seguida algumas figuras onde se pode visualizar as várias mensagens de aconselhamento gerados pelo módulo implementado.

Na Figura 5.17 encontram-se, via Web, as últimas cinco mensagens geradas devido ao comportamento energético dos ocupantes, bem como a informação da pontuação actual da habitação.

Figura 5.17: Interface Gráfica via Web com as últimas mensagens enviadas ao utilizador

Na Figura 5.18 é apresentada na Web, os resultados obtidos e descritos anteriormente.

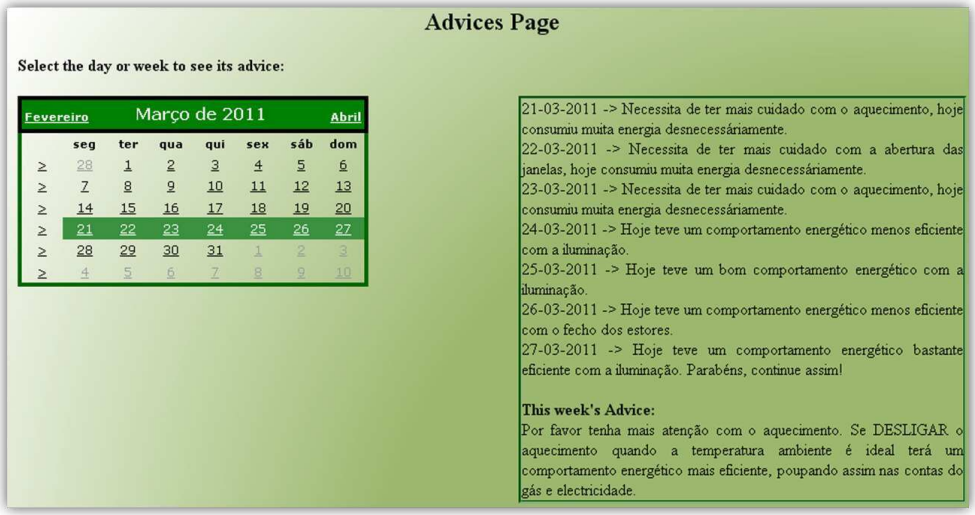


Figura 5.18: Interface Gráfica via Web com os aconselhamentos gerados na semana de testes

5.3 Modo Simulação

Tal como foi referido no Capítulo 3 o sistema é composto por um modo de simulação, de modo a que utilizador possa testar o *HESAS* com todo o tipo de combinações de variáveis ambientais, sendo possível verificar os resultados no momento. A grande vantagem deste modo é que proporciona ao utilizador uma ferramenta simples mas capaz de simular qualquer ambiente de qualquer divisão e apartamento com apenas o rato, sem que seja necessário que o utilizador criar determinadas situações para simular um ambiente na sua divisão, o que além de não ser possível para determinados valores ambientais (imaginando um habitante no equador tentar simular temperaturas negativas na sua casa), levaria também bastante mais tempo a atingi-los.

De seguida são criadas algumas situações, a título de exemplo, no simulador do *HESAS*.

Exemplo 1 É simulado o ambiente onde se encontra bastante luz exterior, neste caso 10316 lux, no entanto no interior da sala apenas se encontram 84 lux. Relativamente à temperatura, encontramo-nos

num dia bastante quente com 32ºC no exterior e uma temperatura amena de 20ºC no interior da sala. A janela da sala encontra neste momento fechada.

Neste momento a interface gráfica do *HESAS* encontra-se do seguinte modo (Figura 5.19):

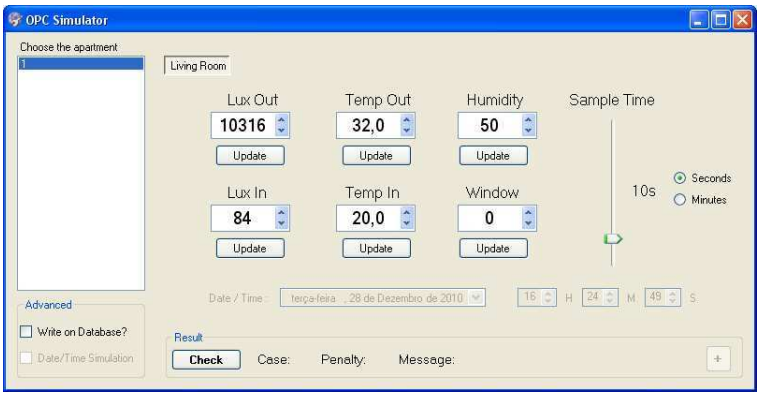


Figura 5.19: Condição Inicial do Exemplo 1.

Após o ambiente criado, é agora o momento em que se vai provocar alteracções significativas no meio ambiente, e visualizar os potênciais resultados.

Neste exemplo, tal como é possível visualizar pela Figura 5.20, foi aberta a janela da sala e a temperatura interior subiu 6ºC num intervalo de 40 minutos, o que numa situação real demonstra que o utilizador com temperatura exterior elevada abriu a janela, o que consequentemente elevou a temperatura dentro da sua divisão.

Neste caso em particular, o *HESAS* detectou que a janela foi aberta indevidamente.

Figura 5.20: Resultados do Exemplo 1.

Exemplo 2 Neste segundo exemplo (ver Figura 5.21) irá-se explorar a iluminação. Foi criado o meio ambiente com bastante claridade exterior, ou seja, 10229 lux e com uma iluminação interior de 126 lux. A temperatura interior é de 20ºC e a exterior de 26ºC e a janela encontra-se aberta.

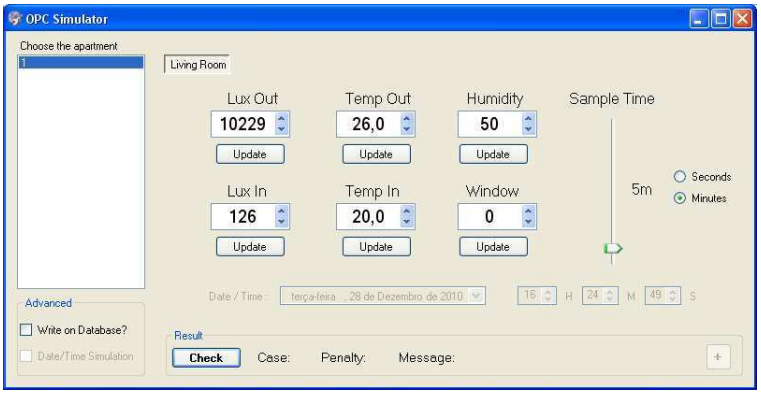


Figura 5.21: Condição Inicial do Exemplo 2.

No instante a seguir a iluminação interior subiu para os 255 lux em apenas 1 segundo, sem que houvesse qualquer alteração na intensidade luminosa vinda do exterior, o que levou ao *HESAS* a concluir que as Luzes foram ligadas desnecessariamente (ver Figura 5.22), pois a iluminação exterior existente seria mais que necessária para iluminar o interior da divisão.

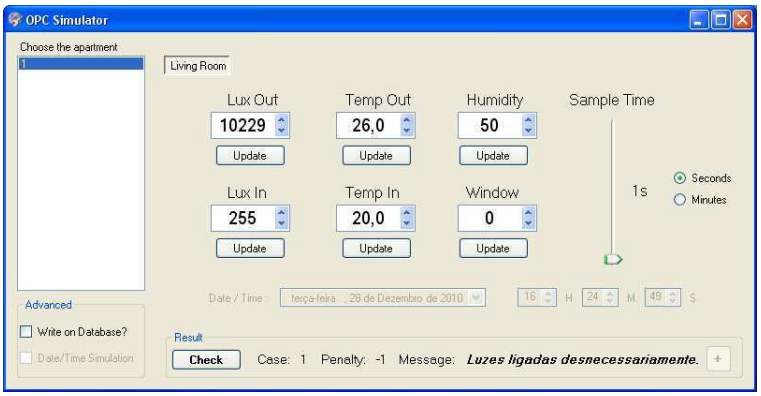


Figura 5.22: Resultados do Exemplo 2.

Exemplo 3 De novo a recriar outro meio ambiente, é agora utilizado condições exteriores com iluminação a 10229lux e respectiva temperatura de 25ºC, enquanto no interior é encontrado uma iluminação de 126lux e uma temperatura de 20ºC. A janela que separa o meio exterior do interior encontra-se fechada, tal como na Figura 5.23.

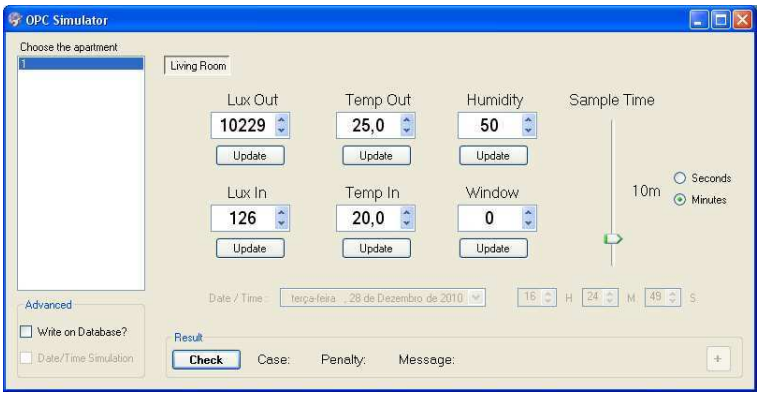


Figura 5.23: Condição Inicial do Exemplo 3.

Com as condições anteriores, a temperatura interior foi actualizada para os 22ºC, ou seja, notou-se um acréscimo de 2ºC em quarenta segundos, mesmo com a janela fechada como na Figura 5.24.

Devido ao facto da subida ter sido tão repentina o *HESAS* detectou um mau comportamento energético e lançou a mensagem, para o utilizador, de que o aquecedor foi ligado incorrectamente.

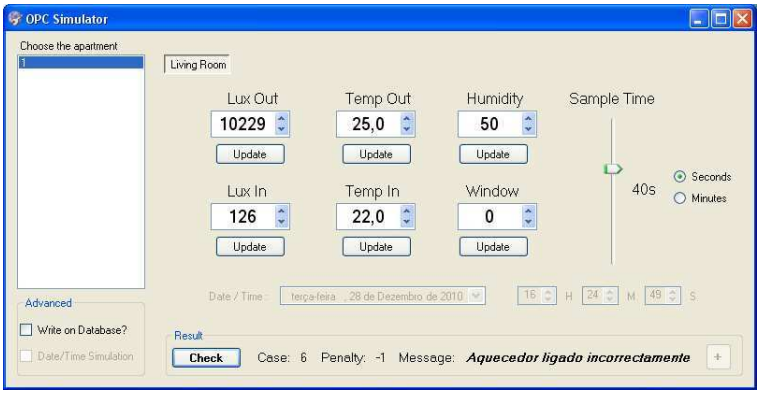


Figura 5.24: Resultados do Exemplo 3.

Exemplo 4 Por fim, como último exemplo, foi inserido na janela de simulação os valores de 4263 lux para iluminação exterior e 100 Lux para iluminação interior e uma temperatura exterior de 13ºC ao invés dos 20ºC colocados como temperatura interior, com a janela fechada. Com estes valores é intuitivo compreender que estamos perante um dia mais frio que os utilizados em exemplos interiores.

A janela gráfica apresentada ao utilizador é como demonstra a Figura 5.25.

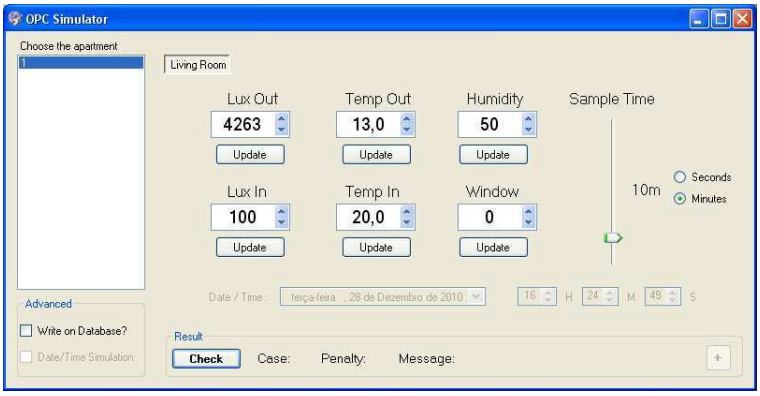


Figura 5.25: Condição Inicial do Exemplo 4.

Como simulação apenas foi alterado o valor de temperatura interior, o que passou dos 20ºC iniciais para 18ºC em 36 segundos.

Tendo em conta que a janela ainda se encontra fechada e que o tempo de variação demonstrar um intervalo demasiado curto, para que a descida de temperatura foi provada por condições naturais, o *HESAS* detecta e avisa o utilizador de que o sistema de Ar Condicionado encontra-se ligado incorrectamente, como é possível visualizar na Figura 5.27.

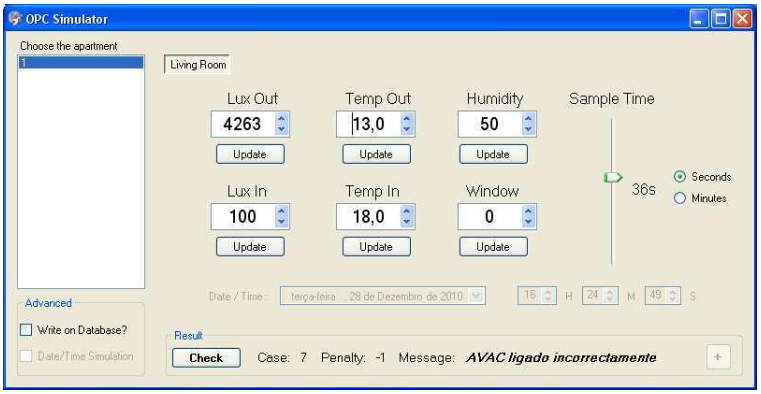


Figura 5.26: Resultados do Exemplo 4.

Reaproveitando o meio ambiente simulado inicialmente deste exemplo (ver Figura 5.25) caso o utilizador tivesse optado por simular a abertura da janela, com a diminuição da temperatura de 1ºC em 2 minutos, o HESAS ia, por outro lado, detectar uma situação em que a janela encontrava-se aberta indevidamente, deixando deste modo entrar frio vindo do exterior.

Por fim, a interface gráfica do simulador apresentada pelo *HESAS* ilustraria a Figura 5.27.

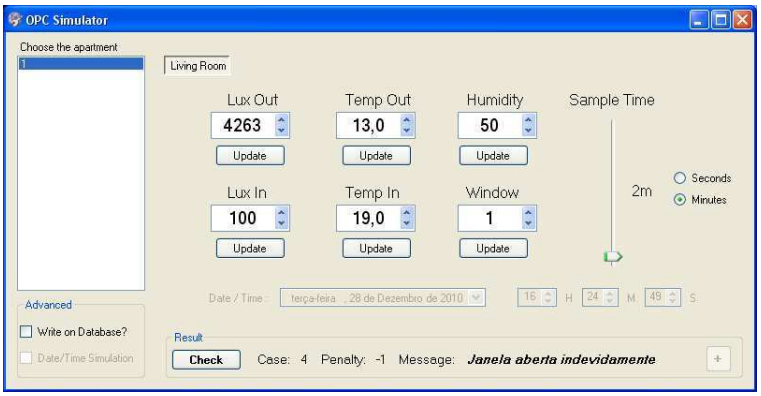


Figura 5.27: Resultados Alternativos do Exemplo 4.

Capítulo 6

Conclusões

Como foi mostrado anteriormente o consumo mundial de energia tem vindo a aumentar o que leva a com que o consumo de energia no sector residencial tenha, também, vindo a crescer.

Este facto conduz a uma imensa pesquisa no campo da eficiência energética, com a maior parte das vezes com o intuito de desenvolver, não só, a eficiência energética de inúmeros equipamentos eléctricos, mas também criar novos equipamentos que façam das habitações locais com a maior redução possível de consumo de energia.

No entanto, por vezes é perdido no esquecimento da sociedade um dos maiores factores que influência o consumo final de energia de uma habitação: o comportamento humano.

Deste modo, foi pensado um sistema capaz de alertar os consumidores sobre as suas acções do dia-a-dia e rotinadas que se irão tornar economicamente mais dispendiosas, e acima de tudo provocar um enorme desperdício de energia.

Finda a implementação do *HESAS* é possível olhar para trás e validar com êxito em todas as frentes propostas, aquando da definição dos objectivos a atingir neste trabalho.

Foi proposto um sistema capaz de analisar variados comportamentos energéticos, em habitações, por parte dos habitantes consoante as características das divisões, previamente definidas, tais como o perfil energético, as potências dos equipamentos instalados e algumas varáveis relevantes para as correctas conclusões das análises pretendidas.

Esta análise comportamental só foi possível após a definição das regras a implementar, representado como um dos maiores desafios para o autor a nível de concepção e execução, tendo em conta a necessidade de transpor situações consideradas de censo comum para a lógica computacional.

Com a ajuda da linguagem Prolog, o trabalho ficou mais facilitado devido à sua forma de representação do conhecimento inserido, levando assim a uma maior rapidez no desenvolvimento das regras relativas aos comportamentos a detectar e, à posterior, a analisar.

Com o módulo de análise comportamental concluído, foi a vez de dar início ao desenvolvimento da geração de aconselhamentos dedicados aos utilizadores.

Para criar aconselhamentos os mais dedicados possíveis foram considerados o maior número de variáveis que discriminem o utilizador, e o contexto das acções realizadas, ao máximo passando pela consideração do histórico de comportamentos e aconselhamentos, a designação das várias pontuações comportamentais, os vários tipos de comportamentos, etc.

Com a união da análise comportamental e a geração dos aconselhamentos dedicados, considera-se que foi implementado as bases necessárias para a realização dos alertas pretendidos, que tem como

destinatário os vários utilizadores do *HESAS*.

Resumidamente, foi implementado no *HESAS* funcionalidades relevantes e que o tornam particular, passando a referir:

- Detecção de mudança de solstício, e consequentemente dos perfis energéticos de todas as divisões;
- Capacidade de realizar análises e aconselhamentos dedicados com grande velocidade, levando a uma aplicação robusta mesmo com uma grande quantidade de apartamentos por supervisionar;
- Realização de aprendizagem automática, como modo de auxílio ao utilizar, na configuração do sistema;
- Cálculo das pontuações de cada comportamento analisado;
- Cálculo da estimativa do dinheiro poupado/gasto no final do dia;
- Fornecimento de uma base de dados com a maioria das características do sistema e os registos efectuados;
- Disponibilização ao utilizador de um simulador do sistema, de como a testar o sistema off-line;
- Actualização das variáveis ambientais em tempo real;
- Actualização dos alertas gerados pelo motor de inferência do sistema em tempo real.

6.1 Publicações

É de salientar que sobre este trabalho foi elaborado um artigo científico posteriormente aceite pela conferência internacional IEEE POWERENG 2011 em Málaga, Espanha, a fim de expor as suas funcionalidades e inovações contribuindo assim para o desenvolvimento da eficiência energética em habitações, que tem cada vez mais peso no consumo total de energia a nível mundial, cuja referência é a seguinte:

David Silva, Sérgio Vieira, Celson Lima e João F. Martins da CTS/UNINOVA e DEE/FCT/UNL, Lisboa, Portugal, ”Home Energy Saving Adviser System” em III IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Maio 2011, pág. 1-5, (doi: 10.1109/PowerEng.2011.6036425).

6.2 Trabalhos Futuros

Apesar da confiança depositada no *HESAS*, o autor tem noção que com a implementação de complementos sobre este trabalho, é possível aumentar a capacidade de resposta para com os consumidores, levando a eficiência energética em habitações a um patamar mais elevado.

São aqui apresentadas algumas ideias, baseadas com os dados fornecidos pelo sistema, que poderão vir a ser consideradas futuramente:

- Estudo aprofundado e colocação de novas regras, na base de conhecimento do sistema, com um índice de detalhe maior, para análises mais específicas relativas aos comportamentos energéticos;
- Detecção e discriminação de vários utilizadores distintos pertencentes aos mesmos apartamentos, e respectivos comportamentos;
- Conhecimento dos aconselhamentos gerados em tempo real, num sistema móvel, através da implementação de uma aplicação para Smartphones com acesso ao sistema via Wi Fi ou via Bluetooth.

Bibliografia

[1] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M.Tignor, and H. Miller, "Summary for policymakers," in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (C. U. Press, ed.), IPCC, 2007.

[2] BP, "Statistical review of world energy," London, UK: BP p.l.c, 2011.

[3] "Varian looks to enforce moore law in solar." http://www.greentechmedia.com/articles/read/varian-looks-to-enforce-moores-law-in-solar/, Greentech Media, Inc. Visualizado pela última vez em Outubro de 2011.

[4] Recyclereminders.com, "Energy conservation sign." `http://www.recyclereminders.com/safety-signs/help-conserve-turn-off-lights-sign/saf-sku-s-1241.aspx`, Visualizado pela última vez em Outubro de 2011.

[5] C. F. da Silva Ramos, "Arquitecturas e componentes de sistemas periciais." `http://www.dei.isep.ipp.pt/~csr/`, 2003. Apontamenos das aulas de Sistemas Periciais no ISEP/IPP, Portugal.

[6] J. M. Fechine, "Inteligência artificial." `http://www.dsc.ufcg.edu.br/~joseana/IA_PosGraduacao2009.html`, 2008. Apontamenos das aulas de Inteligência Artificial na UFCG, Brasil.

[7] BCSDPortugal, *Eficiência Energética em Edifícios - Factos e Tendências para 2050*. WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, 2009.

[8] MEMO/08/33, ed., *Memo on the Renewable Energy and Climate Change Package*. Brussels: European Commission, August 2008.

[9] E.-M. Laitner and McKinney, "Examining the scale of the behaviour energy efficiency continuum," *ECEEE 2009 SUMMER STUDY*, 2009.

[10] M. Monteiro and M. R. dos Santos, *Psicologia 12º Ano*, vol. 1. Porto Editora, 2003.

[11] J. F. Alves, *Comunicação Interpessoal e Aspectos Comportamentais*. Faculdade Machado de Assis, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

[12] A. Barr and P. R. Cohen, *The Handbook of Artificial Intelligence*. Edward A. Feigenbaum, 1981.

[13] E. A. Feigenbaum, B. G. Buchanan, and J. Lederberg, "On generality and problem solving: a case study using the dendral program," in *Machine Intelligence*, vol. 6, ch. 12, pp. 165–190, Edinburgh University Press, 1971.

[14] E. H. Shortliffe, *Computer Based Medical Consultations : MYCIN*. New York: America Elsevier Publishing Company, Inc., 1976.

[15] N. W. Bryant, *Managing Expert Systems*. 1988.

[16] R. A. Edmunds, *The Prentice Hall guide to expert systems*. Prentice Hall, 1988.

[17] A. Colmerauer and P. Roussel, "The birth of prolog," in *History of programming languages II* (J. Bergin, J. Thomas, J. Gibson, and G. Richard, eds.), pp. 331–367, New York, NY, USA: ACM, 1996.

[18] J. J. Cook, *PSharp Manual (version 1.1.3)*. University of Edinburgh. College of Science and Engineering. School of Informatics., 2003.

[19] S. Hinz, P. DuBois, J. Stephens, P. Olson, and J. Russell, *MySQL ConnectorNET*. Oracle Corporation, 2010.

[20] R. T. Automation, *LonWorks: A plan for Product Enhancement*. Echelon Corporation, 2008.

[21] L. M. Camarinha-Matos, "Sistemas periciais de tempo real." `http://www.uninova.pt/~cam/teaching/teaching.htm`, 2001. Apontamenos das aulas de Integração de Sistemas na FCT/UNL.

[22] J. J. Cook, *Language Interoperability and Logic Programming Languages*. University of Edinburgh. College of Science and Engineering. School of Informatics., 2005.

[23] B. Dahlbom, *Changing Energy Behaviour: Guidelines for Behavioural Change Programmes*. Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energia, 2009.

[24] EDP, "Eficiência energética." `http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/eficiencia-energetica`, Abril 2011.

[25] EDP, *Guia prático da Eficiência Energética*. 2006.

[26] O. T. Force, *OPC Overview (version 1.0)*. OPC Foundation, 1998.

[27] E. M. Giglio, *O Comportamento do Consumidor*. Thomson Learninig, 3ª ed., 2005.

[28] L. A. Greening, D. L. Greene, and C. Difiglio, "Energy eficiency and consumption: the rebound effect," in *Energy Policy*, vol. 28, pp. 389–401, Elsevier Science Ltd, 2000.

[29] I. Gust, *Strategies to promote sustainable consumer behaviour: The use of the lifestyle approach*. Lund University International Masters Programme in Environmental Science, 2004.

[30] J. Naganuma and T. Ogura, "A highly or-parallel inference machine (multi-asca) and its performance evaluation: An architecture and its load balancing algorithms," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 43, pp. 1062–1075, 1994.

[31] D. Pillay, *Electricity Conservation: Factors influencing sustainable energy efficient consumer behaviour in the South African household*. Gordon Institute of Business Science in University of Pretoria in South Africa, 2008.

[32] V. Quaschning, *Understanding Renewable Energy Systems*. Earthscan, 2005.

[33] C. F. da Silva Ramos, "Introdução aos sistemas periciais." `http://www.dei.isep.ipp.pt/~csr/`, 2003. Apontamenos das aulas de Sistemas Periciais no ISEP/IPP, Portugal.

[34] Viscom, "Opc and .net with com interoperability." `http://www.codeproject.com/KB/COM/opcdotnet.aspx`, Fevereiro 2011.

[35] A. Westwood, *WinProlog Intelligence Server*. Logic Programming Associates Ltd., 2008.

Apêndice A

Diagrama Casos de Uso

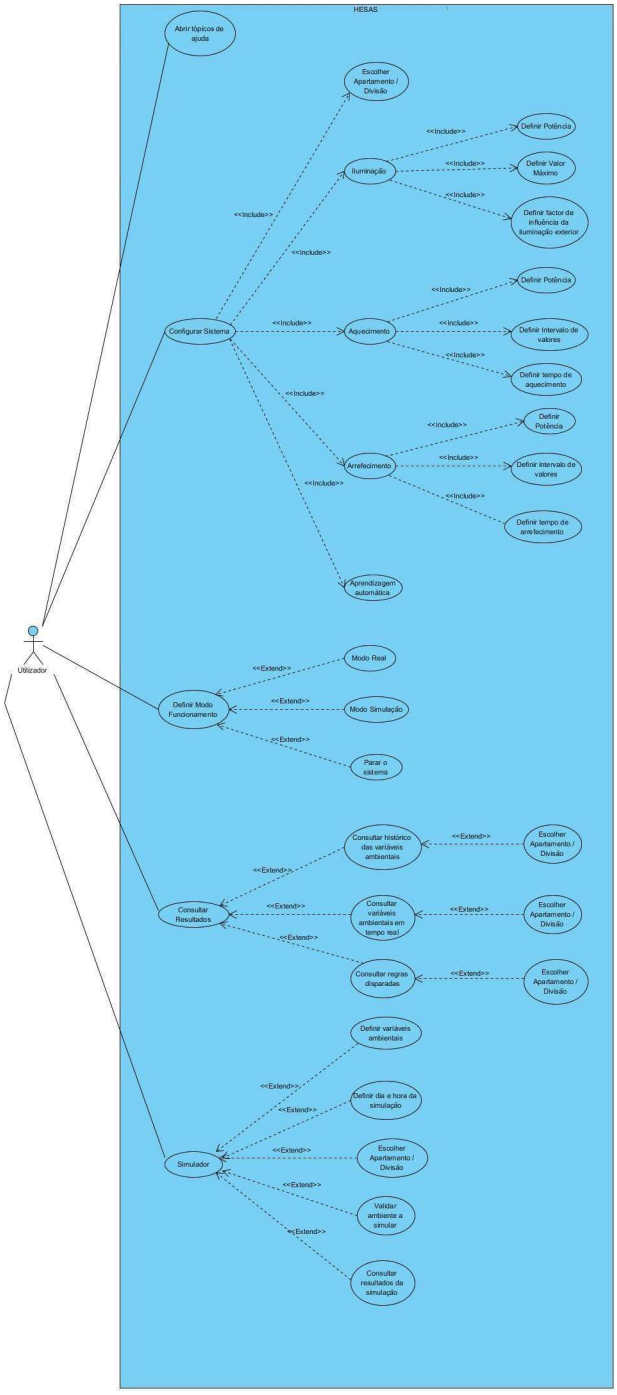


Figura A.1: Diagrama Casos de Uso.

Apêndice B

Diagrama Entidade-Relação

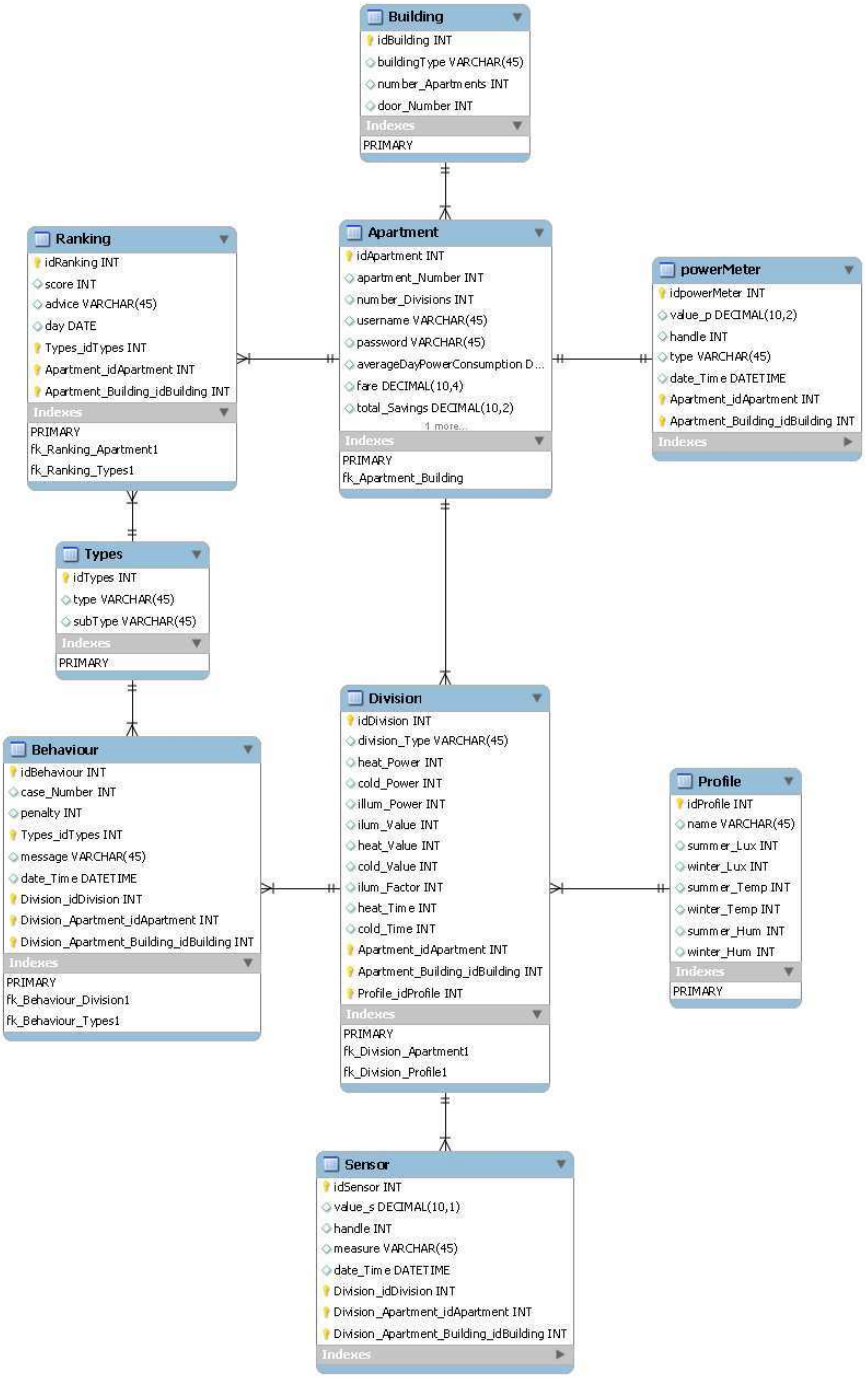


Figura B.1: Diagrama Entidade-Relação.

Apêndice C

Diagrama de Classes

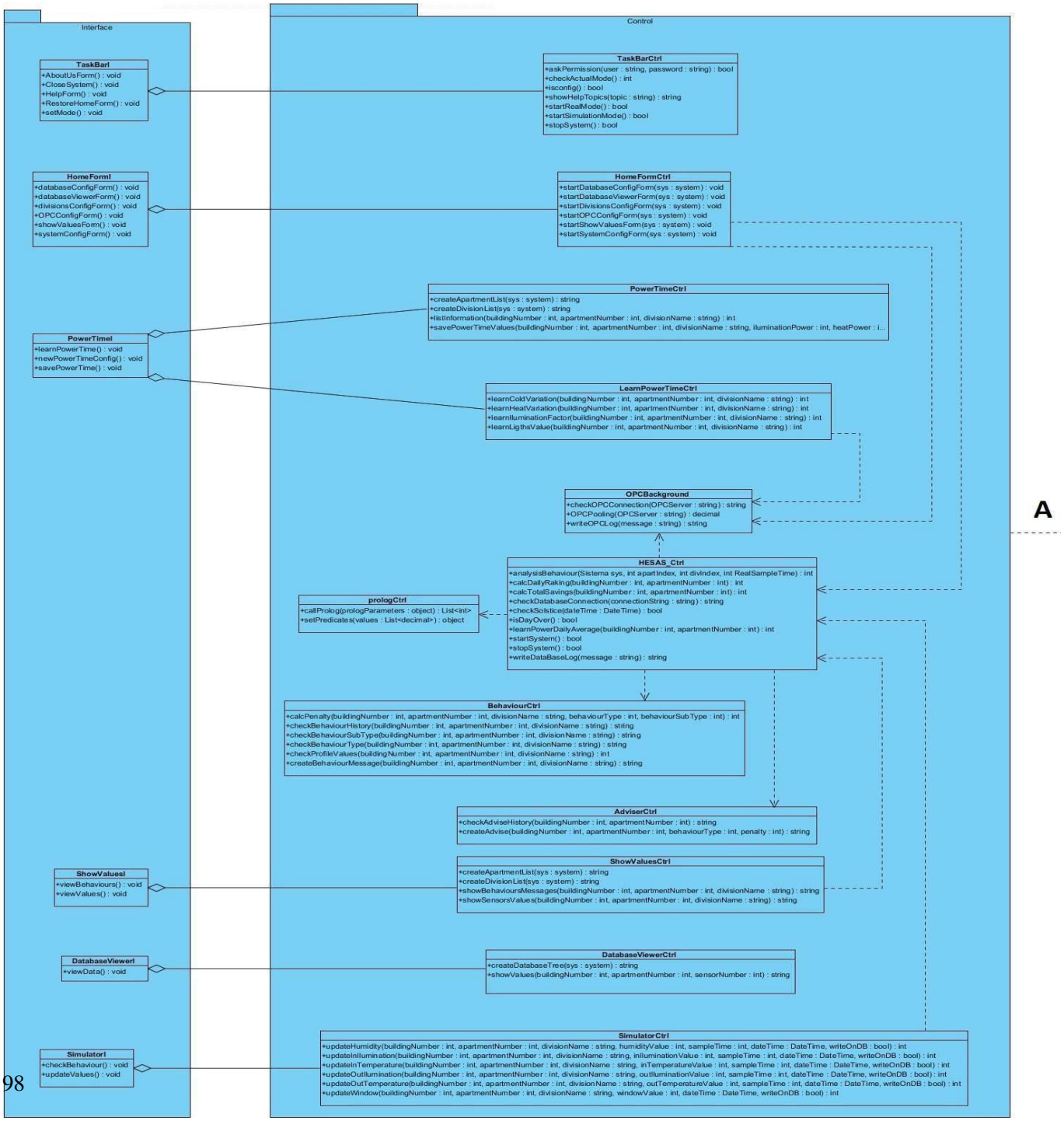


Figura C.1: Diagrama de Classes (Folha 1/2).

A dependência A (seta à esquerda na Figura 2) é a maneira de interligar a Figura 1 com a Figura 2 deste Anexo.

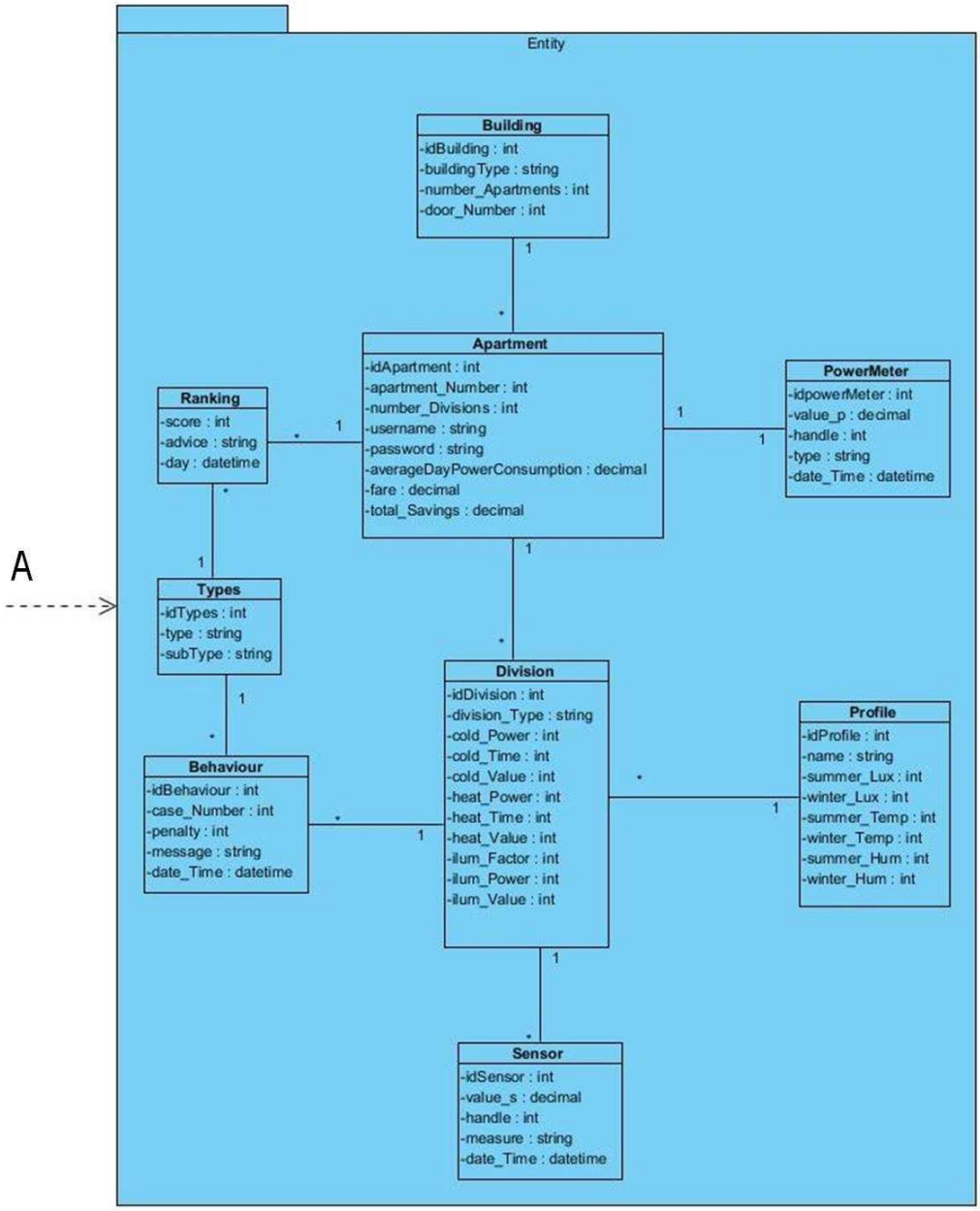


Figura C.2: Diagrama de Classes (Folha 2/2).

Apêndice D

Diagramas de Sequência

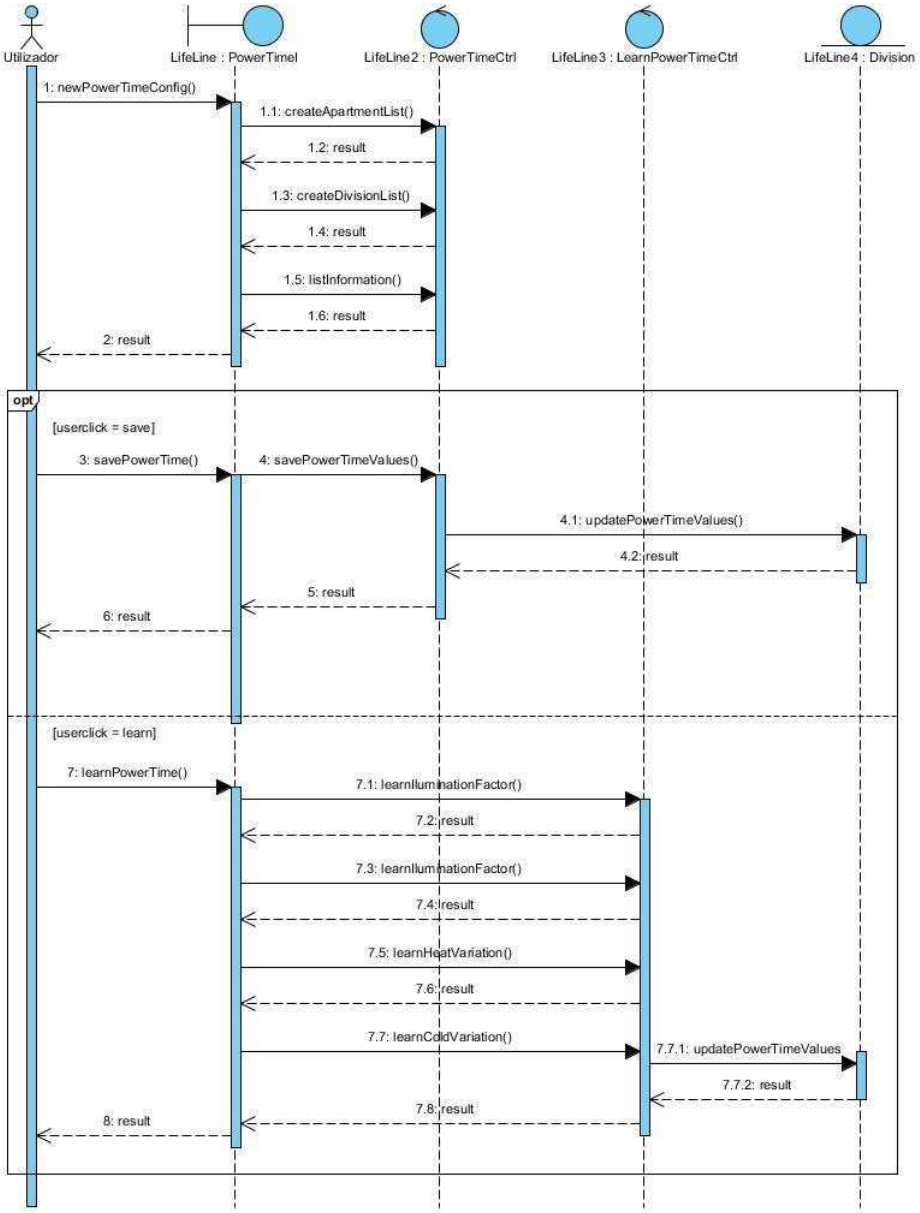


Figura D.1: Diagrama de Sequência da funcionalidade *Configurar Sistema* disponibilizada ao actor Utilizador.

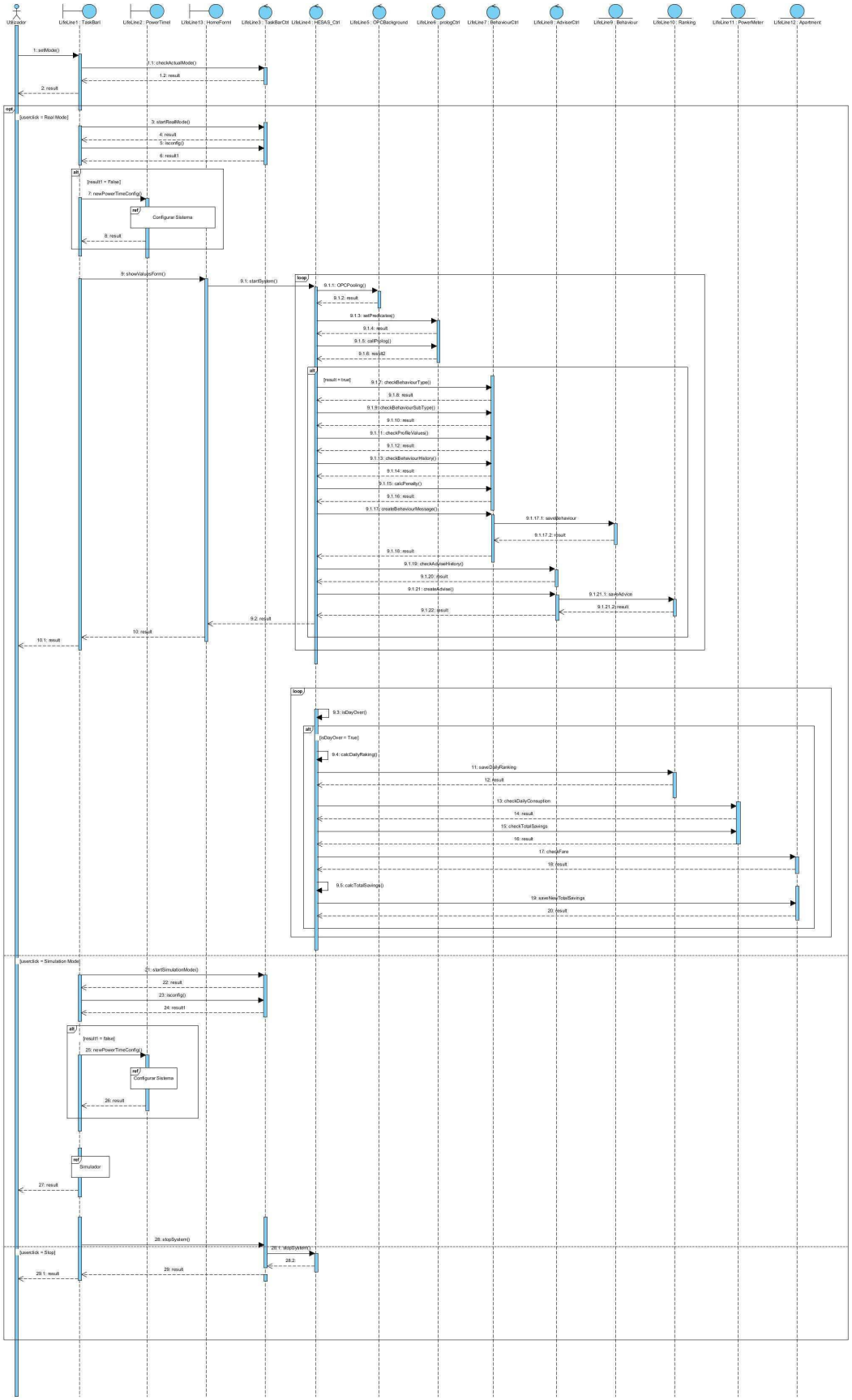


Figura D.2: Diagrama de Sequência da funcionalidade *Definir Modo de Funcionamento* disponibilizada ao actor Utilizador.

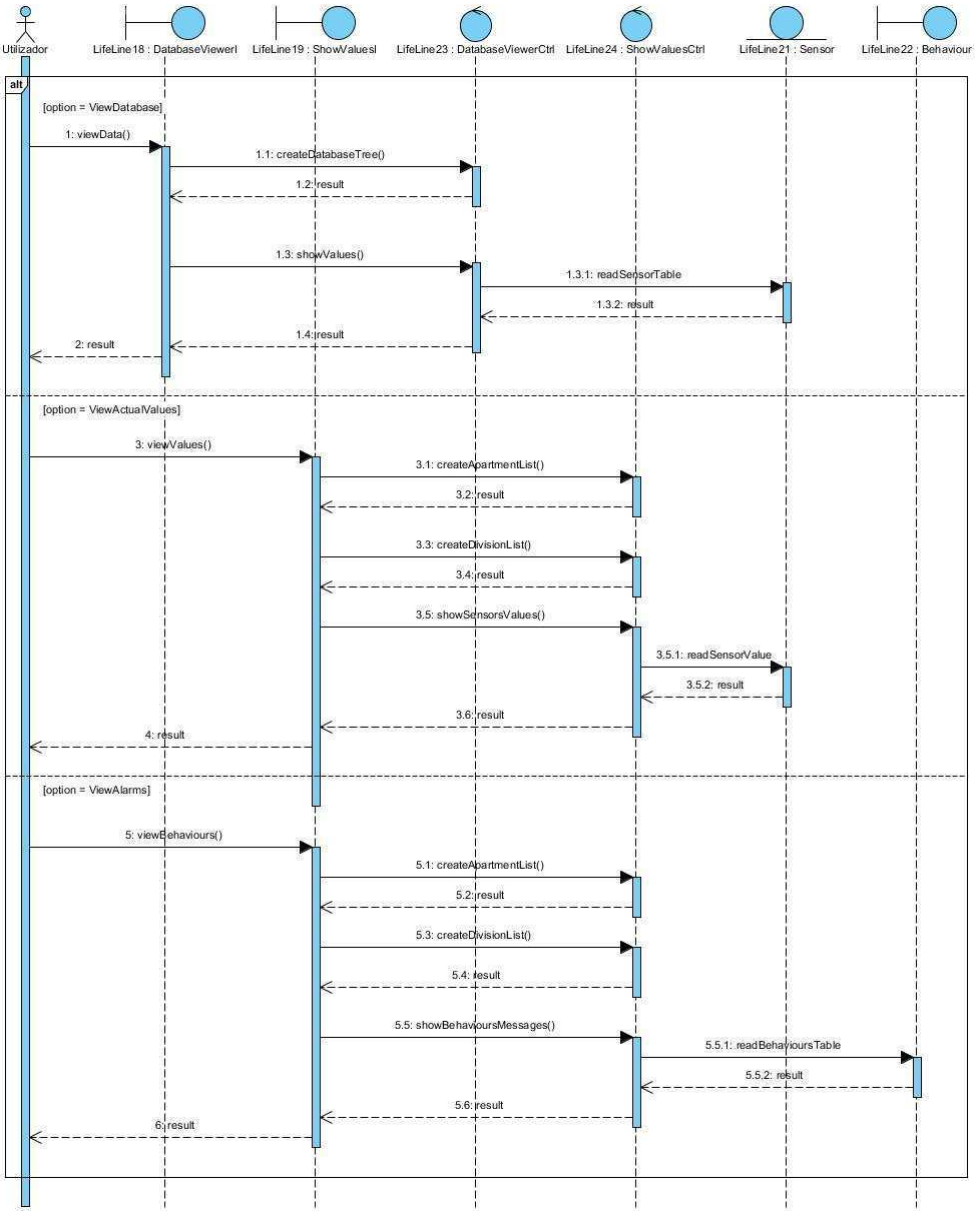


Figura D.3: Diagrama de Sequência da funcionalidade *Consultar Resultados* disponibilizada ao actor Utilizador.

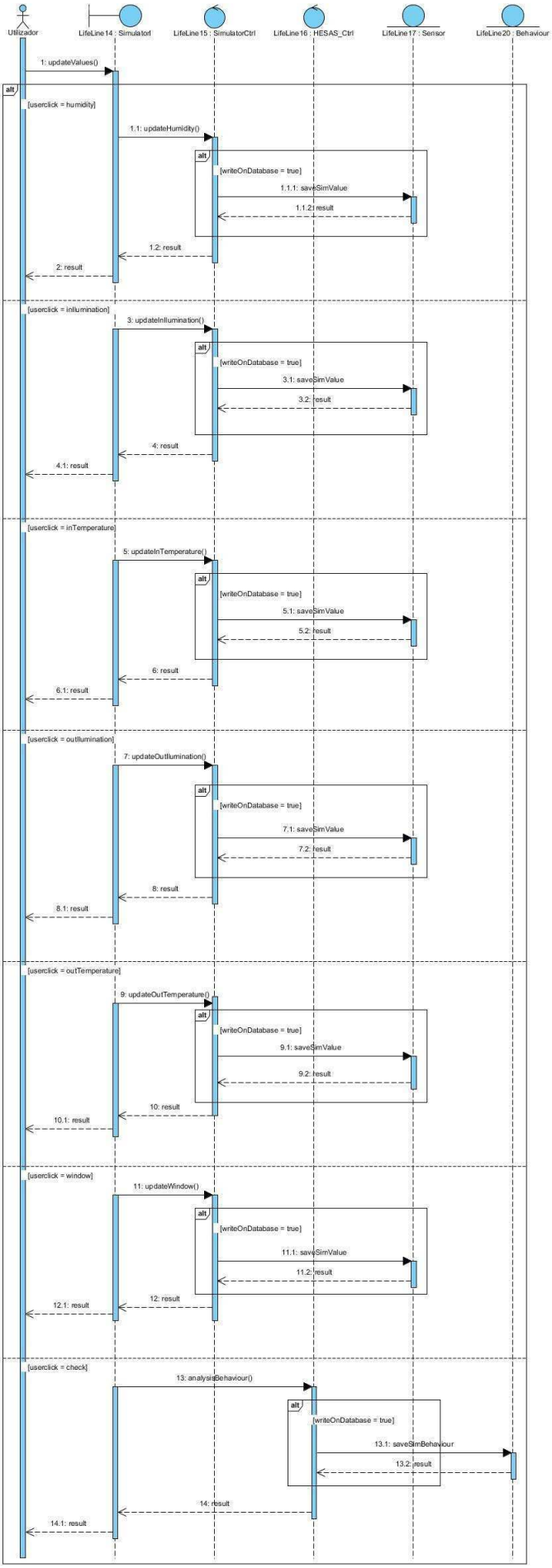


Figura D.4: Diagrama de Sequênciada funcionalidade *Simulador* disponibilizada ao actor Utilizador.